



جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني
الإدارة المركزية لشئون الكتب

الفيزياء

للف الثالث الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. محمد سامح سعيد

أستاذ ورئيس قسم الإلكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم جامعة المنصورة

د. طارق محمد طلعت سلامة

مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

د. مصطفى محمد السيد محمد

أستاذ م. الفيزياء بكلية تربية عين شمس

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

لجنة التعديل

أ.د. محمد أحمد كامل
أ. صدقة الدردير محمد على

د. صلاح عبد المحسن عجاج
أ. علاء الدين محمد أحمد عامر

إشراف علمي

مستشار العلوم

أستاذ / يسرى فؤاد سويرس

إشراف تربوي ومراجعة وتعديل

مركز تطوير المناهج والمواد التعليمية

٢٠٢٠/٢٠١٩

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني

المحتويات

٩٦-١٠	الوحدة الأولى: الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية
١٢	الفصل الأول: التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرتشفوف
٢٨	الفصل الثانى: التأثير المغناطيسى والتيار الكهربى
٥٧	الفصل الثالث: الحث الكهرومغناطيسى
	الفصل الرابع: دوائر التيار المتردد
١٨٦-٩٧	الوحدة الثانية: مقدمة فى الفيزياء الحديثة
٩٩	الفصل الخامس: ازدواجية الموجة والجسيم
١٢١	الفصل السادس: الأطياف الذرية
١٣٤	الفصل السابع: الليزر
١٥٨	الفصل الثامن: الإلكترونيات الحديثة
١٩٣-١٨٧	أسئلة وتارين عامة للمراجعة
	ملاحق:
١٩٥	ملحق ١: الرموز والأبعاد ووحدات الكميات الفيزيائية
١٩٨	ملحق ٢: الثوابت الفيزيائية الأساسية
٢٠٠	ملحق ٣: البادئات القياسية
٢٠١	ملحق ٤: الحروف الأبجدية اليونانية
٢٠٢	ملحق ٥: بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت

المقدمة

الفيزياء هي ركيزة العلوم الأساسية، فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيراً وصغيراً، وهي أصل العلوم ويتشابه معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية، وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض، وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية، ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهي أساس التقدم العلمى والتكنولوجيا الهائل، وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون، وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية والحضارية التى يقودها الغرب الآن، ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون، وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون، وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم، وهذا ما حدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتلفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء، ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية، وقريباً يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه، والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لا يعترف إلا بسلطة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة، لكنه رصيد متراكم، فالعلم مشروع جماعى، كل من ساهم فيه كان لابد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعياً تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ، ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفته فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديداً فى فترة حياته وهي أولاً وآخرها، فترة محدودة. كيف إذاً يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما

سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشري على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية في هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها في فرع صغير من فروع أى علم من العلوم، ولكننا لا بد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها. ولقد روعى في هذا الكتاب ما يلي:

- ١- إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية في هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التي لا تصب مباشرة في الفهم العام للموضوع.
 - ٢- يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحاً للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء في النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة في الامتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.
 - ٣- يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثّة الواضحة مذيّلة بتوصيف لكل صورة، كما تم إخراج الكتاب في أربعة ألوان طبقاً للمقاييس العالمية في الكتب المدرسية المتطورة.
 - ٤- يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائي والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.
 - ٥- ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.
 - ٦- روعى في الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقاً للنظام الدولي.
- وفي النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء

هو فهم كل ما حولنا في الحياة وكل الاختراعات التي نتعامل م معها وتلك التي ستخرج إلى النور في المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقا ومفيدا.

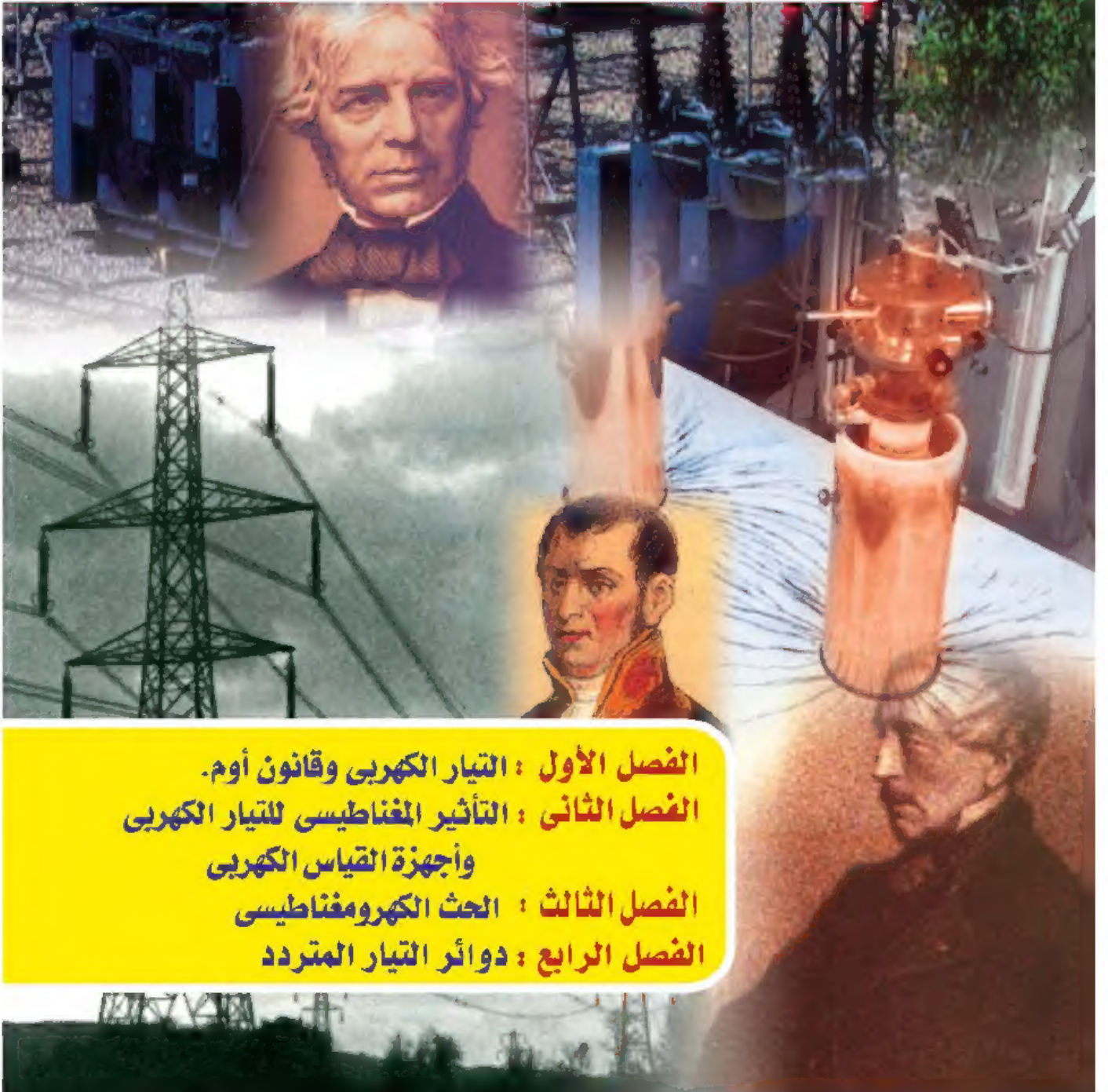
فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج في المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما يتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه في يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك وأنت الذي مهدت له الطريق. وكفاك بهذا فخرا.

لجنة إعداد منهج الفيزياء

- أ.د مصطفى كمال محمد يوسف
- أ.د. محمد سامح محمد سعيد
- د. مصطفى محمد السيد محمد
- أ. طارق محمد طلعت سلامة
- أ. كريمة عبدالعليم سيد أحمد

الوحدة الأولى

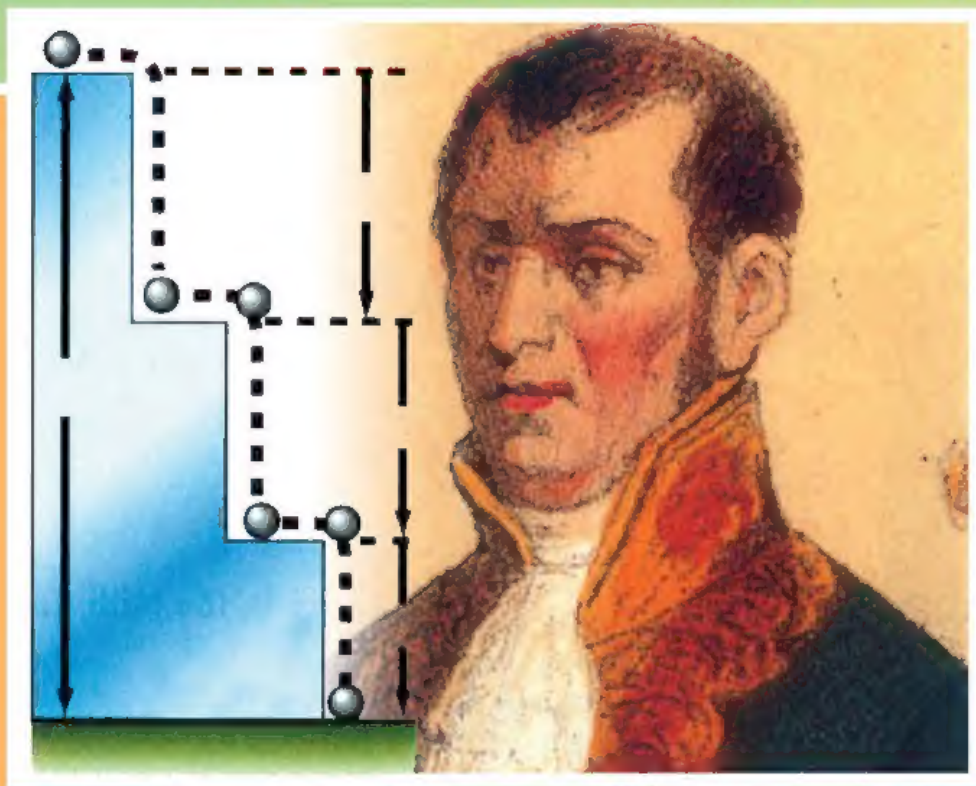
الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية



الفصل الأول : التيار الكهربى وقانون أوم.
الفصل الثانى : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى
وأجهزة القياس الكهربى
الفصل الثالث : الحث الكهرومغناطيسى
الفصل الرابع : دوائر التيار المتردد

الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى



الفصل الأول : التيار الكهربى وقانون أوم

الوحدة الأولى

الكهرلية التيارية

الفصل الأول

التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرتشف

مقدمة :

مما سبق دراسته فى السنوات السابقة نعلم الآتى :

١- التيار الكهربى هو فيض من الشحنات الكهرلية خلال موصل.

٢- شدة التيار الكهرى تعطى بالعلاقة $I = \frac{Q}{t}$ ، حيث أن Q هى كمية الكهرلية



مقاسة بالكولوم و t هى الزمن بالثانية، و I هى شدة التيار، وتقاس بالأمبير = كولوم / ثانية.
 $A = C/s$

٣- فرق الجهد بين نقطتين، $V = \frac{W}{Q}$

حيث أن W هو الشغل المبذول مقدرا بالجول، V هو فرق الجهد مقاسا بالفولت $V = J/C$

٤- القوة الدافعة الكهرلية لمصدر، وهى

الشغل الكلى اللازم لنقل وحدة الشحنات (الكولوم) خلال الدائرة (خارج وداخل المصدر) ولها نفس وحدة فرق الجهد (الفولت).



٥ - المقاومة (R) هى معانعة الموصل لمرور التيار

الكهرى مقاسة بالأوم، وتعتمد عند ثبوت درجة الحرارة على كل من: طول الموصل - مساحة مقطعه - نوع مادته ، وتعطى بالعلاقة $R = \rho_e \frac{l}{A}$ ، حيث l طول الموصل

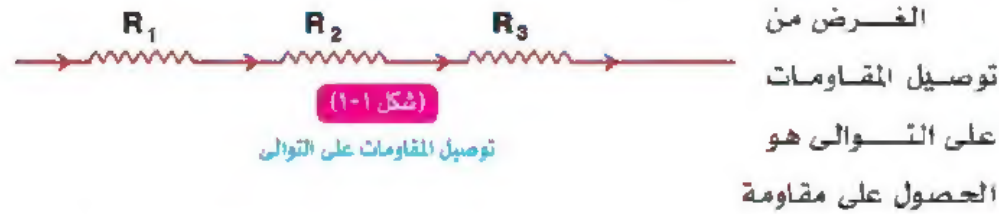
بالمتر و Ωm مساحة مقطعه بالمتر المربع، و ρ_e هي المقاومة النوعية وتقاس Ωm
 التوصيلية الكهربائية لمادة (معامل التوصيل الكهربى لها) σ هي مقلوب المقاومة
 النوعية $\sigma = \frac{1}{\rho_e}$ وتقاس بوحدة $\Omega^{-1} m^{-1}$
 ٦ - قانون اوم Ohm's Law،

تناسب شدة التيار المار فى الموصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند
 ثبوت درجة الحرارة $V = IR$

٧ - اصطلاح أن يكون اتجاه التيار الكهربى من الطرف الموجب إلى الطرف السالب فى
 دائرة كهربية مغلقة خارج المصدر، ويسمى هذا الاتجاه التقليدى للتيار الكهربى، وهو عكس
 اتجاه حركة الالكترونات.

توصيل المقاومات

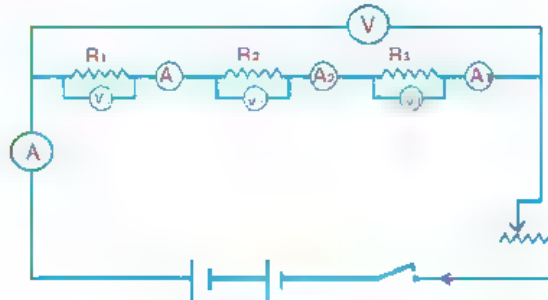
أولاً : توصيل المقاومات على التوالى :



كبيرة من مجموعة من المقاومات ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة فى (الشكل
 ١-١) لتكون بمثابة ممر متصل للتيار الكهربى.

لايجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوالى، تدمج المجموعة
 فى دائرة كهربية تشمل بطارية وامپتر وريوستات ومفتاح موصلة جميعها على التوالى كما
 فى (الشكل ١-٢). ويغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار
 كهبرى مناسب شدته I امبير. وعندئذ يقاس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1 ، وليكن
 V_1 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 وليكن V_2 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة
 R_3 وليكن V_3 ، ثم يقاس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة وليكن V . ونلاحظ انه

يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات بالدائرة .



(شكل ١-٢)

قياس المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالي

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{اى ان}$$

$$\therefore V = IR \quad \text{لكن}$$

$$V_1 = IR_1$$

$$V_2 = IR_2$$

$$V_3 = IR_3$$

بالتعويض ينتج ان ،

$$IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$\boxed{R' = R_1 + R_2 + R_3} \quad (1-1) \quad \text{ومنها ،}$$

المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالي تساوى مجموع هذه المقاومات.

يلاحظ ان المقاومة الكبيرة هي التي تحدد المقاومة الكلية في حالة التوصيل على التوالي. وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوالي متساوية، وقيمة كل

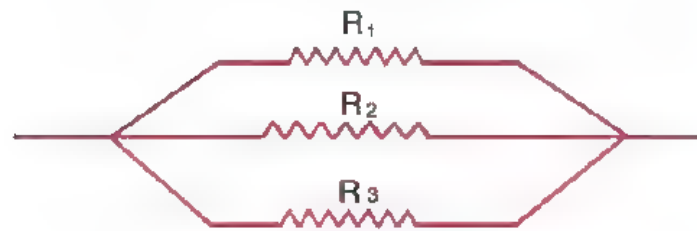
منها R وعددها N يكون ،

$$\boxed{R' = NR} \quad (2-1)$$

مما سبق نرى انه إذا اردنا الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة توصل هذه المجموعة معا على التوالى.

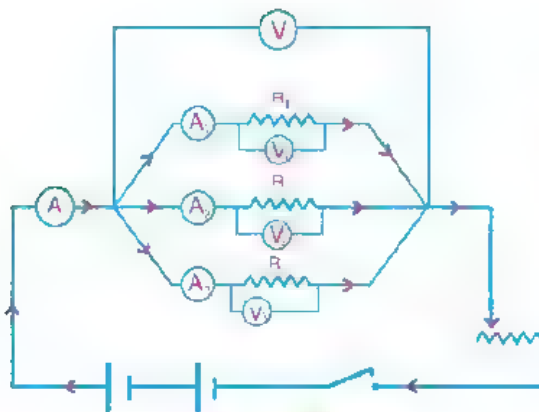
ثانياً، توصيل المقاومات على التوازى :

الغرض من توصيل المقاومات على التوازى هو الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة بالشكل (١-٣).
لإيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوازى، ندمج المجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات موصلة معا كما فى الشكل (١-٤).



شكل (١-٣)

توصيل المقاومات على التوازي



شكل (١-٤)

قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصل على التوازي

وبغلق الدائرة الكهربائية وتعديل

مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار

مناسب فى الدائرة الرئيسية شدته

يمكن قياسها بالأميتر ولتكن I امبير.

عندئذ يعين فرق الجهد الكلى بين

طرفى مجموعة المقاومات المتصلة على

التوازى بواسطة فولتميتر وليكن V

فولت. ونقاس بعدئذ شدة التيار المار فى

المقاومة R وليكن I_1 ، وشدة التيار المار فى المقاومة R_2 وليكن I_2 ، وشدة التيار المار فى المقاومة R_3 وليكن I_3 .

فى حالة التوصيل على التوازى تكون المقاومة المكافئة أقل من أقل مقاومة بحيث يمر الجزء الأكبر من التيار فى المقاومة الأصغر.

تشبه هذه الظاهرة سريان الماء فى الأنابيب ، فالأنبوبة الأصغر هى التى تحدد تدفق الماء فى حالة التوصيل على التوالى (الأنبوبة الاضيق اكبر فى المقاومة) . أما فى حالة التوصيل على التوازى فإن الأنبوبة الاوسع (الأقل فى المقاومة) هى التى يسرى فيها الجزء الاكبر من تيار الماء.
يلاحظ ان،

$$I = \frac{V}{R'} , I_1 = \frac{V}{R_1} , I_2 = \frac{V}{R_2} , I_3 = \frac{V}{R_3}$$

حيث R' هى المقاومة المكافئة وان V هى فرق الجهد على المقاومات المتصلة على التوازى . ولأن التيار الكلى I هو مجموع التيارات $I_1 + I_2 + I_3$ إذا

$$\frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad \text{ومنها ،}$$

$$\boxed{\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (٣-١)$$

اى ان ، مقلوب المقاومة المكافئة R' لجموعة من المقاومات متصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوبات المقاومات.

وفى حالة مقاومتين متصلتين على التوازى تكون المقاومة المكافئه R'

$$\boxed{R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \quad (٤-١)$$

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوازي متساوية وقيمة كل منها R وعددها N يكون ،

$$\frac{1}{R'} = \frac{R}{r}$$

$$R' = \frac{R}{N} \quad (5-1)$$

ولذلك إذا أردنا الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة توصل هذه المجموعة من المقاومات على التوازي.

نعلم أن القوة الدافعة الكهربائية لعمود $e.m.f$ هي الشغل الكلى المبذول خارج وداخل العمود لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد فى الدائرة الكهربائية .
لذلك إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربائية للعمود (البطارية) بالرمز V_B ولشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز I وللمقاومة الخارجية بالرمز R وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز r فإن ،

$$V_B = IR + Ir$$

$$V_B = I (R + r)$$

$$I = \frac{V_B}{R + r} \quad (6-1) \quad \text{ومنها}$$

وتعرف العلاقة السابقة باسم قانون أوم للدائرة المغلقة حيث تكون ،-

$$\text{شدة التيار الكهربى فى دائرة} = \frac{\text{القوة الدافعة الكهربائية الكلية}}{\text{المقاومة الكلية للدائرة}}$$

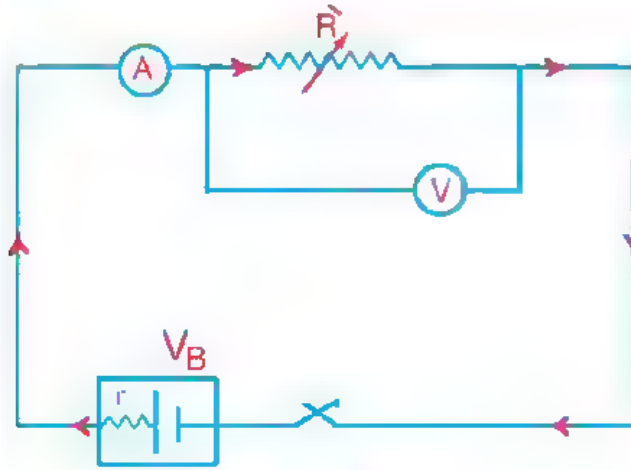
سأشغل الآن القوة الدافعة الكهربائية لعمود وفرق الجهد فى قطبيه

من شكل (5-1) نجد أن:

$$V = V_B - Ir$$

ومن العلاقة الأخيرة تبين أنه مع إنقاص شدة التيار تدريجيا فى الدائرة الموضحة

في الشكل (١ - ٥) بزيادة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبي العمود.



شكل (١ - ٥)

علاقة جهد البطارية بالقوة الدافعة الكهربية لها

وعندما تصبح شدة التيار صغيرة جداً إلى حد يمكن معه إهمال الحد الثاني من الطرف الأيمن في المعادلة السابقة، يصبح فرق الجهد بين قطبي العمود مساوياً تقريباً للقوة الدافعة الكهربية له أي أن، القوة الدافعة الكهربية للعمود هي فرق الجهد بين قطبيه في حالة عدم مرور تيار كهربي في دائرته.

(١) وصلت المقاومات الثلاث 25Ω و 70Ω و 85Ω على التوالي مع بطارية القوة

الدافعة الكهربية لها $45V$ بإهمال المقاومة الداخلية للبطارية احسب :

(أ) شدة التيار الكهربي المار في كل من المقاومات الثلاث.

(ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل :

تعيين المقاومة الكلية للدائرة من :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180 \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلي في الدائرة من قانون اوم للدائرة المغلقة

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25 A$$

ونظراً لأن المقاومات الثلاث موصلة على التوالي يكون التيار المار فيها ثابتاً، أي أن

شدة التيار المار في كل مقاومة هو $0.25A$

فرق الجهد على المقاومة الاولى هو ،

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثانية هو ،

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثالثة هو ،

$$V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V$$

(٢) إذا وصلت المقاومات الثلاث فى المثال السابق على التوازي مع نفس المصدر فاحسب ،

(ا) شدة التيار المار فى كل مقاومة.

(ب) المقاومة الكلية.

(ج) شدة التيار الكلى.

الحل :

نظرا لأن المقاومات الثلاث متصلة على التوازي، يكون فرق الجهد على كل مقاومة

(مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية) هو 45V

وتتعين شدة التيار فى كل مقاومة على حدة من ،

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529 \text{ A}$$

وتتعين المقاومة الكلية من ،

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$R' = 15.14 \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من ،

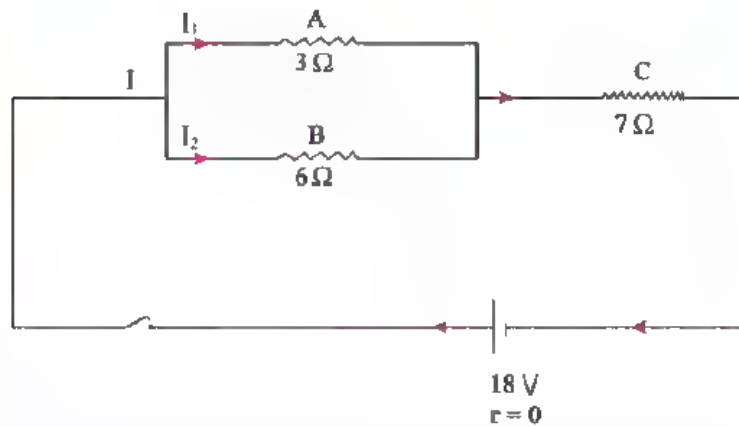
$$I = \frac{V}{R'} = \frac{45}{15.14} = 2.972 \text{ A}$$

أي أن شدة التيار الكلي تساوي 2.972 A

ويمكن حساب شدة التيار الكلي بجمع I_1 , I_2 , I_3 وعندئذ يكون :

$$I = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.972 \text{ A}$$

وهي نفس النتيجة السابقة.



(٣) في الشكل السابق وصلت المقاومتان A و B معا على التوازي ثم وصلت

المجموعة على التوالي مع مقاومة ثالثة C وبطارية قوتها الدافعة الكهربائية 18V ، فإذا كانت المقاومات A , B , C هي 3Ω و 6Ω و 7Ω على الترتيب، فاحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية ،

أولاً ، المقاومة الكلية.

ثانياً ، شدة التيار المار في الدائرة.

ثالثاً ، شدة التيار المار في كل من المقاومتين A و B

الحل :

نحسب المقاومة المكافئة للمقاومتين A و B المتصلتين على التوازي من العلاقة :

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \Omega$$

ثم نحسب المقاومة المكافئة الكلية للمقاومات الثلاث من العلاقة ،

$$R = R' + R_3 = 2 + 7 = 9 \Omega$$

وتعین شدة التيار الكلي من العلاقة ،

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18}{9} = 2 \text{ A}$$

ولحساب شدة التيار فى كل من المقاومتين B و A نحسب اولاً فرق الجهد بينهما من ،

$$V' = IR' = 2 \times 2 = 4V$$

$$\therefore I_1 = \frac{V'}{R_1} = \frac{4}{3} = 1.333 \text{ A}$$

$$\therefore I_2 = \frac{V'}{R_2} = \frac{4}{6} = 0.667 \text{ A}$$

(٤) عمود كهربي قوته الدافعة الكهربية 2 V وصل فى دائرة كهربية. فإذا كانت

المقاومة الداخلىة له 0.1 Ω والمقاومة الخارجىة 3.9 Ω فاحسب شدة التيار الكلى فى دائرته.

الحل

$$I = \frac{V_B}{R' + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5 \text{ A}$$

Kirchhoff's laws

قانون كيرتشفوف

هناك دوائر كهربيه معقدة لا يطبق عليها قانون اوم لذلك نخضع هذه الدوائر لقانونا كيرتشفوف

القانون الأول : " قانون حفظ الشحنة الكهربيه "

عرفنا أن التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية عبارة عن سيل من الإلكترونات السالبة (شحنتات كهربيه) تنتقل من نقطة إلى أخرى ولا تتراكم الشحنة التى تنتقل عبر الموصل لذلك استنتج كيرتشفوف القانون الأول الذى ينص على الآتى :

" مجموع التيارات الكهربيه الداخلة عند نقطة (عقدة) فى دائرة كهربيه مغلقة يساوى

مجموع التيارات الخارجة منها "

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

كما بالشكل نجد أن :

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$



المجموع الجبرى للتيارات عند نقطة (عقدة) فى دائرة مغلقة يساوى صفر ويكتب $\sum I = 0$

مثال : احسب مقدار واتجاه شدة التيار I الموضح فى الشكل

الحل :



حسب قانون كيرتشفوف الأول

شادات التيارات الداخلة عند النقطة = شادات التيارات الخارجة منها

$$4 + 5 + 2 = 8 + I$$

منها يكون $I = 3 \text{ A}$ واتجاهه خارج من النقطة

القانون الثانى : " قانون حفظ الطاقة "

القوة الدافعة الكهربيه لدائرة كهربيه مغلقة تعبر عن الشغل أو الطاقة اللازمة لتحريك الشحنتات الكهربيه عبر الدائرة كلها مرة واحدة

$$V = I.R$$

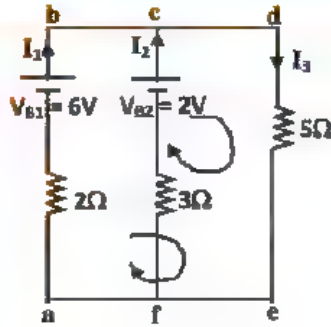
يعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنتات الكهربيه عبر جزء من الدائرة ويعبر عن ذلك بقانون كيرتشفوف الثانى الذى ينص على :

" المجموع الجبرى للقوى المحركة الكهربائيه فى دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لعروق الجهد فى الدائرة "

$$\Sigma V_g = \Sigma I \cdot R \quad \text{ونكتب الصيغة الرياضيه}$$

ويراعى عند حل مسائل الدوائر الكهربية باستخدام قانونا كيرتشفوف الاتى :

- ١ - يفرض اتجاهات للتيارات فى الأفرع وهى اتجاهات ليست أكيدة، وبعد الحل إذا كان قيمة شدة التيار موجبة يكون فرض اتجاه التيار صحيح، وإذا كانت شدة التيار سالبة يكون اتجاه التيار فى الفرع عكس الاتجاه المفروض .
- ٢ - يفرض فى كل مسار (دائرة) مغلق اتجاه معين ويعتبر موجباً، ويكون عكسه اتجاه سالب.
- ٣ - يطبق قانون كيرتشفوف الثانى على أكثر من مسار مغلق، فإذا وافق اتجاه التيار المفروض يعتبر التيار موجباً والمخالف يكون سالباً.
- ٤ - اتجاه القوة الدافعة داخل البطارية من القطب السالب إلى الموجب، إذا وافق الاتجاه المفروض يكون موجباً وعكسه يكون سالباً.



أمثلة على قانون كيرشوف

مثال ١ : في الدائرة الموضحة بالشكل احسب

١- شدات التيارات في كل فرع

٢- فرق الجهد بين نقطتي a,b

الحل :

نفرض اتجاه التيارات كما هو موضح في الدائرة

نطبق قانون كيرشوف الأول عند نقطة (c)

$$I_1 + I_2 = I_3 \rightarrow (1)$$

نأخذ المسار المغلق (الدائرة) abdea

ونطبق القانون الثاني $\sum V_B = \sum I.R$

$$6 = 2 I_1 + 5 I_3 = 2 I_1 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$6 = 7 I_1 + 5 I_2 \rightarrow (2)$$

نأخذ المسار المغلق (الدائرة) cdefc ونطبق القانون الثاني

$$2 = 3 I_2 + 5 (I_3) = 3 I_2 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$2 = 5 I_1 + 8 I_2 \rightarrow (3)$$

من (2) ، (3) نوجد معامل احد المجهولين بضرب المعادلة (2) x 5 ، والمعادلة (3) x 7

$$30 = 35 I_1 + 25 I_2$$

$$14 = 35 I_1 + 56 I_2$$

$$16 = -31 I_2$$

بالطرح

$$\therefore I_2 = -0.516 \text{ A}$$

الإشارة السالبة تعني أن الاتجاه الصحيح للتيار I_2 عكس الاتجاه المفترض في الشكل

بالتعويض في المعادلة (3)

$$2 = 5 I_1 + 8 \times (-0.516)$$

$$\therefore I_1 = 1.226 \text{ A}$$

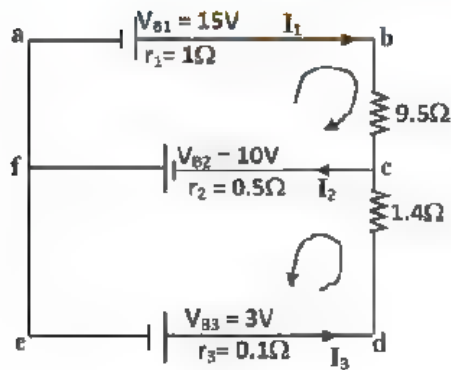
الإشارة الموجبة تعنى الاتجاه المفروض صحيح

وبالتعويض في المعادلة (1) يحسب $I_3 = 0.71 \text{ A}$

حساب فرق الجهد بين نقطتي ab

$$V = V_B - IR$$

$$= 6 - 1.226 \times 2 = 3.55 \text{ V}$$



مثال ٢ . في الدائرة الموضحة بالشكل

احسب قيم شدات التيارات I_1, I_2, I_3

الحل :

نطبق قانون كيرتشف الأول عند نقطة (c)

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad \rightarrow \quad (1)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في الدائرة المغلقة abcfa

$$\sum V_B = \sum IR$$

$$15 + 10 = (1 + 9.5) I_1 + 0.5 I_2 \quad \text{بالتضرب في (2)}$$

$$50 - 21 I_1 + I_2 \quad \rightarrow \quad (2)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في الدائرة المغلقة cdef

$$3 + 10 = 0.5 I_2 + (0.1 + 1.4) I_3 \quad \text{بالتضرب في (2)}$$

$$26 - I_2 + 3 I_3 \quad \rightarrow \quad (3)$$

من المعادلة (1) والمعادلة (2)

$$50 = 21 (I_2 - I_3) + I_2 = 22 I_2 - 21 I_3 \quad \rightarrow \quad (4)$$

من المعادلة (4) والمعادلة (3) بضرب المعادلة (3) x 7 وجمعها مع المعادلة 4

$$182 = 7 I_2 + 21 I_3$$

$$50 = 22 I_2 - 21 I_3$$

بالجمع

$$232 = 29 I_2$$

$$\therefore I_2 = 8 \text{ A}$$

بالتعويض في المعادلة (2)

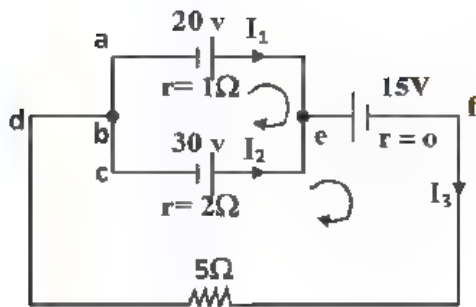
$$50 = 21 I_1 + 8$$

$$\therefore I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_3 = 6 \text{ A}$$

وبالتعويض في المعادلة (1) نحسب

نلاحظ أن الاتجاهات المفروضة كانت صحيحة



مثال ٣ . في الدائرة الموضحة بالشكل احسب :

١- شدة التيار المار في كل بطارية

٢- فرق الجهد بين قطبي كل بطارية

٣- فرق الجهد عبر المقاومة 5Ω

الحل

نعرض اتجاه التيارات كما بالشكل

نطبق قانون كيرتشف الأول عند نقطة (e)

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \rightarrow \quad (1)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في المسار المغلق (aecba)

$$20 - 30 - I_1 \times 1 - I_2 \times 2$$

$$-10 = I_1 - 2 I_2 \quad \rightarrow \quad (2)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في المسار المغلق (aefdba)

$$20 - 15 - I_1 \times 1 + I_3 \times 5$$

$$5 = I_1 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$5 = 6 I_1 + 5 I_2 \quad \rightarrow \quad (3)$$

بحل المعادلتين 2، 3 بضرب المعادلة (2) $\times 5$ والمعادلة (3) $\times 2$ ثم الجمع

$$-50 - 5 I_1 - 10 I_2$$

$$10 - 12 I_1 + 10 I_2$$

$$-40 = 17 I_1$$

بالجمع

$$\therefore I_1 = 2.35 \text{ A}$$

ويكون اتجاه I_1 عكس ما هو مفروض اى البطارية 20 V فى حالة شحن

$$I_2 = 3.82 \text{ A}$$

بالتعويض (2) نجد ان

اى البطارية 30 V فى حالة تفريغ

$$I_3 = 1.46$$

والتيار I_3

$$V_1 = 20 + 2.35 \times 1 = 22.35 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 20 V ،

$$V_2 = 30 - 3.82 \times 2 = 22.35 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 30 V ،

$$V_3 = 15 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 15V .

$$V_R = 5 \times 1.46 = 7.3 \text{ V}$$



• القوانىن الهامة :

- إذا مرت كمية كهربىة Q خلال مقطع فى دائرة فى زمن t تكون شدة التيار.

$$I = \frac{Q}{t}$$

- إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الكهربىة Q (Coulomb) هو

W(Joule) يكون الفرق فى الجهد (Volt).

$$V = \frac{W}{Q}$$

- قانون اوم : إذا كان فرق الجهد بىن طرفى موصل V(V) ويمر به تيار I(A) فإن :

$$R = \frac{V}{I} \quad \Omega$$

حىث R مقاومة الموصل (المقاومة).

$$\rho_e = \frac{RA}{l} \quad (\Omega m) \quad \text{(عند ثبوت درجة الحرارة)}$$

حىث R(Ω) مقاومة موصل مساحة مقطعة A(m²) وطوله l(m) .

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} \quad (\Omega^{-1} m^{-1}) \quad \text{• التوصىلىة الكهربىة}$$

- قانون توصىل المقاومات على التوالى

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- وإذا كانت جمىع المقاومات متساوىة وقيمة كل منها R فإن R' = NR

حىث N عدد المقاومات.

● قانون التوصيل على التوازى

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

● عندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن

$$R' = \frac{R}{N}$$

● قانون اوم للدائرة المغلقة ،

شدة التيار المار فى دائرة مغلقة

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

حيث V_B القوة الدافعة الكهربائية للعمود، r مقاومته الداخلية، R المقاومة

الخارجية.

قانون كيرشوف الأول :

مجموع التيارات الكهربائية الداخلة عند نقطة فى دائرة كهربية مغلقة يساوى مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها

$$\Sigma I = 0$$

قانون كيرشوف الثانى :

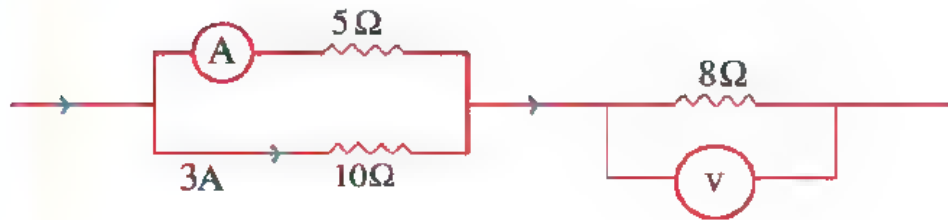
المجموع الجبرى للقوى الدافعة الكهربائية فى دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لفروق الجهد فى الدائرة.

$$\Sigma V_B = \Sigma I \cdot R$$

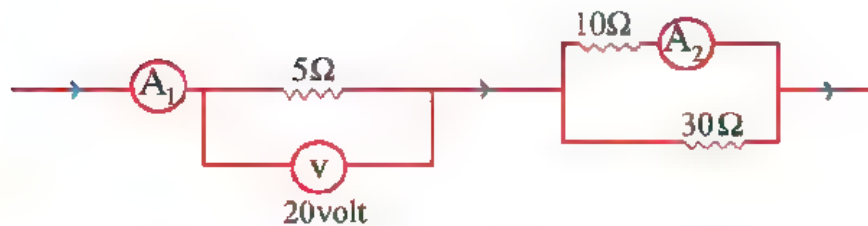
أسئلة وتمارين

أولاً، أكمل:

- ١- عندما يمر تيار كهربى شدته $3A$ عبر نقطة من دائرة كهربية، فإن الشحنة الكهربائية التى تمر خلال دقيقة تساوى.....
- ٢- فرق الجهد بالفولت المطلوب لئى يمر تيار مقداره $3A$ خلال مقاومة 6Ω تساوى.....
- ٣- إذا كان فرق الجهد بين طرفى مقاومة 2Ω يساوى $6V$ فإن شدة التيار التى تمر فيها تساوى.....
- ٤- إذا وصلت مقاومتان متساويتان كل منهما تساوى 1Ω على التوالى، فإن المقاومة المكافئة تساوى..... أما إذا تم التوصيل على التوازى فإن المقاومة المكافئة فى هذه الحالة تساوى.....
- ٥ - القوة الدافعة الكهربائية تقاس بنفس وحدات قياس.....



- ٦ - فى الدائرة الموضحة،
- أ - قراءة الأميتر تساوى.....
- ب - قراءة الفولتميتر تساوى.....



٧ - فى الدائرة الموضحة،

ا - قراءة الأميتر A_1 تساوى.....

ب - قراءة الأميتر A_2 تساوى.....

ثانيا اخترا لإجابة الصحيحة،

وصلت اربع لمبات مقاومة كل منها 6Ω على التوازي ثم وصلت المجموعة ببطارية $12V$ ذات مقاومة داخلية مهملة ،

١ - المقاومة الكلية لللمبات الأربع تساوى ،

- | | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| (ا) $\frac{2}{3}\Omega$ | (ب) 24Ω | (ج) $\frac{3}{2}\Omega$ |
| (د) 6Ω | (هـ) 12Ω | |

٢ - التيار المار بالبطارية يساوى ،

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| (ا) $8A$ | (ب) $6A$ | (ج) $4A$ |
| (د) $2A$ | (هـ) $0A$ | |

٣ - الشحنة الكلية التى تترك البطارية فى $10s$ تكون

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| (ا) $80C$ | (ب) $60C$ | (ج) $40C$ |
| (د) $20C$ | (هـ) صفر | |

٤ - شدة التيار المار بكل لمبة يساوى ،

- | | | |
|--------------------|-----------|--------------------|
| (ا) $\frac{2}{3}A$ | (ب) $8A$ | (ج) $\frac{3}{2}A$ |
| (د) $1A$ | (هـ) $2A$ | |

٥ - فرق الجهد بين طرفى كل لمبة يساوى ،

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| (ا) $3V$ | (ب) $12V$ | (ج) $6V$ |
| (د) $2V$ | (هـ) $4V$ | |

٦ - إذا وصلت اللمبات الأربع على التوالى تكون مقاومتها الكلية ،

- | | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| (ا) $\frac{2}{3}\Omega$ | (ب) 24Ω | (ج) $\frac{3}{2}\Omega$ |
| (د) 6Ω | (هـ) 12Ω | |

ثالثا : أسئلة المقال :

١- اشرح كيف يمكن اثبات أن المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة معا على التوالي

$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

تتبعين من العلاقة :

٢- اشرح كيف تثبت أن مقلوب المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة على التوازي

تساوى مجموع مقلوب المقاومات الثلاث.

٣- ما هي العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل؟

رابعا : تمارين :

١- احسب المقاومة الكلية

للدائرة الموضحة بالشكل

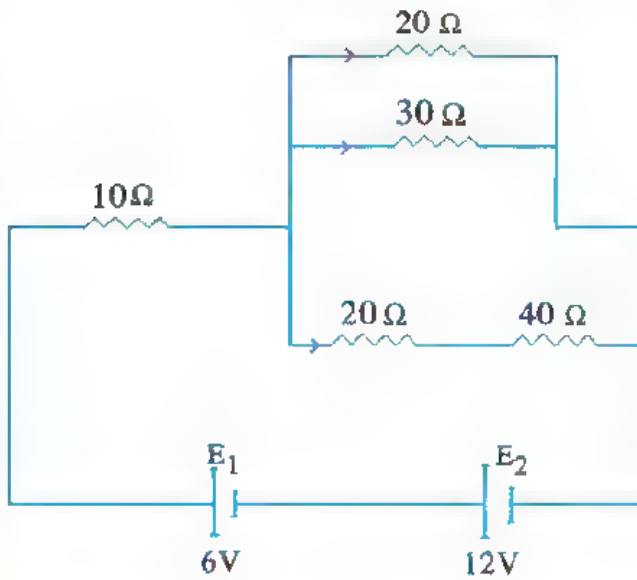
وكذلك شدة التيار الكلى

المر بها إذا كانت

المقاومة الداخلية لكل

عمود 2Ω

(0.75 A , 20Ω)



٢- عين المقاومة

المكافئة

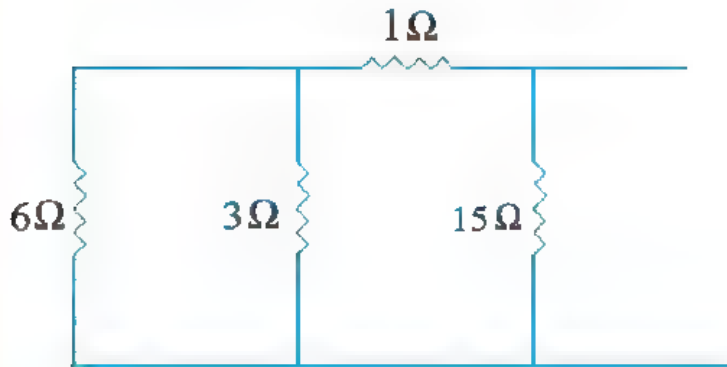
لجموعة

المقاومات

الموضحة

بالشكل

(2.5Ω)



٢- دائرة كالموضحة فى شكل (١ - ٥) تتكون من بطارية $15V$ ومقاومة خارجية 2.7Ω ومفتاح، إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية 0.3Ω عين ،

اولا ، قراءة الفولتميتر والمفتاح مفتوح بفرض أن مقاومة الفولتميتر لانهائية $(15V)$
ثانياً ، قراءة الفولتميتر والمفتاح مغلق $(13.5V)$

٤- صنع طالب مقاومة من سلك ذى طول معين. ثم صنع مقاومة اخرى باستخدام سلك من نفس المادة وكان قطره يساوى نصف قطر السلك الأول، وطوله ضعف طول السلك

الأول. احسب النسبة بين مقاومة السلك الثانى إلى مقاومة السلك الأول. (8)

٥- سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $2 \times 10^{-6}\text{ m}^2$ وفرق الجهد بين طرفيه $3V$ احسب شدة التيار الكهرلى، علما بأن المقاومة النوعية للنحاس $1.79 \times 10^{-8}\Omega\text{m}$ (11.17 A)

٦- مقاومة 4.7Ω وصلت بين قطبى بطارية قوتها الدافعة $12V$ ومقاومتها الداخلية 0.3Ω

احسب ،

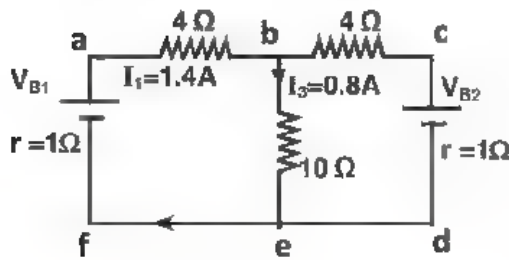
(١) شدة التيار المار فى الدائرة. (ب) فرق الجهد بين طرفى المقاومة

$(11.28V, 2.4A)$

٧- فى الدائرة الموضحة بالشكل باستخدام قانونا كيرشوف احسب كلا من

(١) V_{B1} و V_{B2}

(ب) فرق الجهد بين (e, b)



$$V_{B1} = 15V$$

$$V_{B2} = 5V ,$$

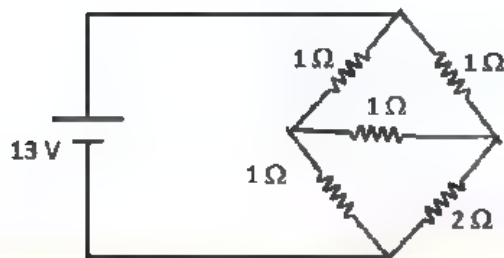
$$V_{(e,b)} = 8V$$

الإجابة :

٨ - احسب المقاومة المكافئة للشكل المقابل باستخدام قانونا كيرشوف :

$$1.18\Omega$$

الإجابة :



الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى

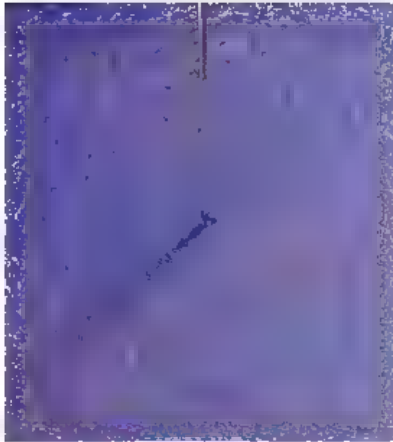


الفصل الثاني : التأثير المغناطيسى
للتيار الكهربى و أجهزة القياس الكهربى

الفصل الثانى التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى واجهزة القياس الكهربى

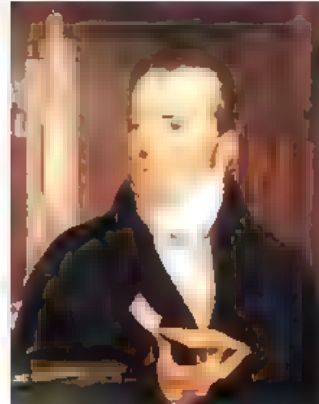
حينما وضع العالم الدانمركى هانر اورستد Oersted عام ١٨١٩ بوصة مغناطيسية صغيرة فوق السلك وموازية له يمر به تيار كهربى لاحظ انحراف ابرة البوصلة. وعندما قطع التيار الكهربى عن السلك، استعادت البوصلة إتجاهها الأسمى. انحراف البوصلة اثناء مرور التيار الكهربى فى السلك يوضح انها تتأثر بمجال مغناطيسى خارجى، مما يؤكد تولد مجال مغناطيسى حول السلك نتيجة لمرور تيار كهربى به. ولقد أدى هذا الكشف الى سلسلة من الدراسات ساعدت فى تشكيل حضارتنا الصناعية. وسيتناول فى هذه الوحدة المجال المغناطيسى لتيار كهربى فى موصل على هيئة : (أ) سلك مستقيم. (ب) ملف دائرى. (ج) ملف لولبى.

يمكننا اختبار ودراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسى Magnetic Flux بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربى باستخدام برادة حديد تنثر بعناية على لوحة افقية من الورق المقوى يخترقها السلك المستقيم وهو فى وضع رأسى. وبطرق لوحة الورق عدة طرقات خفيفة، نلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متحدة لمركز. كما فى الشكل (٢-١).



(شكل ٢-١)

توزيع برادة حديد حول سلك يمر به تيار



اورستد

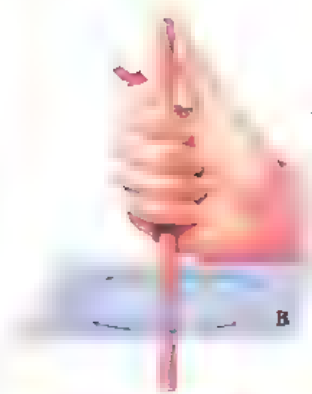
من الشكل تبين أن الدوائر التي تمثل خطوط الفيض المغناطيسي تتزاحم بالقرب من السلك، وتباعد بتباعدها عنه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي الذي يمر في سلك مستقيم تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبتعاد عنه. ومع زيادة شدة التيار الكهربائي في السلك وإعادة طرق لوحة الورق المضوي، يزداد تزاحم خطوط الفيض حول السلك، إذ تصبح الدوائر أكثر ازدحاماً مما كانت عليه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي الذي يمر في سلك مستقيم تزداد بزيادة شدة التيار الكهربائي وتقل بانقاصه.

ويُعبر عن شدة المجال المغناطيسي بكثافة الفيض المغناطيسي B ، وهو الفيض لمغناطيسي Φ_m لوحدة المساحة $B = \frac{\Phi_m}{A}$ وتكون وحدتها Weber/m^2 (Tesla).
وتعبر كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة بعدها العمودي d عن السلك الذي يمر

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

به تيار شدته I من العلاقة،
(٢-١)

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائري Ampere's Circital Law، حيث μ هي النفاذية المغناطيسية للوسط Permeability. وهي للهواء تساوي $4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber/A m}$ ومن هذه العلاقة تبين أن كثافة الفيض B تتناسب طردياً مع شدة التيار I ، وعكسياً مع المسافة d ، ولذلك ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالي للكهرباء حفاظاً على الصحة العامة والبيئة.



(شكل ٢-٢)

قاعدة اليد اليمنى

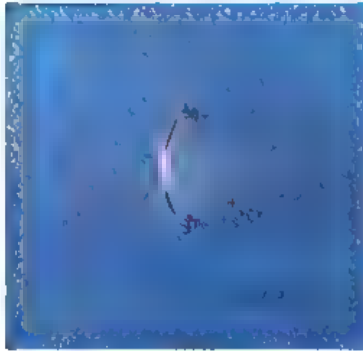
لتعيين اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي يمر في سلك، نتخيل أننا نقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربائي، فإن اتجاه الأصابع الملتفة على السلك، يحدد اتجاه المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي، كما في الشكل (٢-٢).

عين كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة في الهواء على بعد 10 cm من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10A ، علما بان $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

الحل:

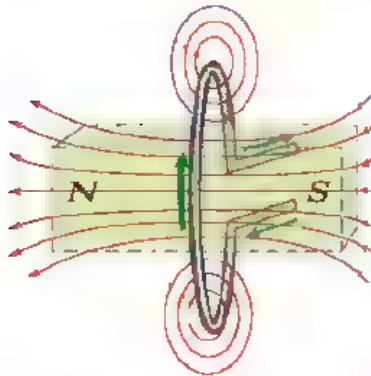
$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 10}{2 \pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف دائري

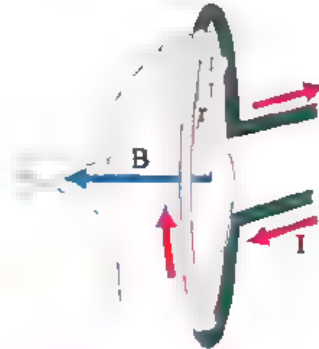


١-مخطط مجال

عند إمرار تيار كهربي في سلك منحنى على شكل حلقة دائرية شكل (٢-٣)، فإن المجال المغناطيسي الناشئ عن هذا الملف الدائري يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسي لمغناطيس قصير، حيث يكون الوجه الذي يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه في اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا جنوبيا، والوجه الذي يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا شماليا كما في شكل (٢-٣ج).



ج - تحديد قطبية المجال



ب- اتجاه المجال عند مركز الملف

مغناطيس

المجال المغناطيسي الملف دائري

ولدراسة المجال المغناطيسى للملف الدائرى ننتشر برادة الحديد على لوح الورق المقوى الذى يخترقه الملف الدائرى، وعند طرق لوح الورق المقوى طرققات خفيفة، نترتب البرادة متخذة الشكل الموضح بالرسم (شكل ٢-٣).

فى هذا الشكل يمكننا ملاحظة ما يلى :

(أ) تفقد خطوط الفيض دائريتها.

(ب) تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.

(ج) خطوط الفيض عند محور الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية متعامدة

على مستوى الملف، مما يدل على أن المجال المغناطيسى فى هذه المنطقة مجال منتظم.

ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى بمعرفة نصف

قطره r وشدة التيار المار I وعدد اللفات N ، حيث تطبق العلاقة :

$$B = \frac{\mu N I}{2 r} \quad (2-2)$$

حيث μ هى معامل النفاذية للهواء وتساوى $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

من هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى تتوقف

على عوامل ثلاثة هى :

١- عدد لفات الملف الدائرى حيث تكون $B \propto N$

٢- شدة التيار المار فى الملف الدائرى حيث تكون $B \propto I$

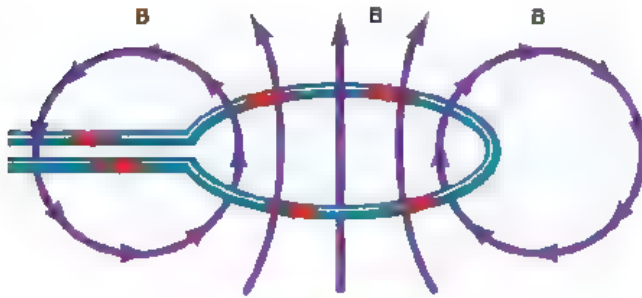
٣- نصف قطر الملف الدائرى r حيث تكون $B \propto \frac{1}{r}$

١- اليد اليمنى Right Hand Screw Rule

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى، نتخيل دوران بريمة (قلاوظ Screw) فى اليد اليمنى فى اتجاه الربط (فى اتجاه حركة عقارب الساعة) عند مركز الملف، بحيث يشير اتجاه دورانها إلى اتجاه التيار الكهربى فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يدل على اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز الملف، كما فى الشكلين (٢-٤) - (٢-٥).

وبذلك فإن ملفاً دائرياً يمر به تيار يكافئ ثنائى قطب مغناطيسى Magnetic Dipole .

ويلاحظ أنه لا يوجد في الطبيعة أقطاب منفردة، فدائما يوجد قطبان أحدهما شمالي N والثاني جنوبي S، وبذلك يمثل الملف الدائري الذي يمر فيه تيار مغناطيسا على هيئة قرص مصمت له قطبان مستديران (شكل ٢-٣).



شكل (٢-٣)

ملف دائري يمر به تيار في اتجاه حركة ربط البريمة



شكل (٢-٤)

قاعدة البريمة اليمنى
اتجاه حركة مسمار بريمة
(اتجاه الربط)

عين كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز ملف دائري نصف قطره 11cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربي شدته 1.4 A ، علما بأن μ للهواء تماوى $4 \pi \times 10^{-7} \text{ Weber/A.m}$

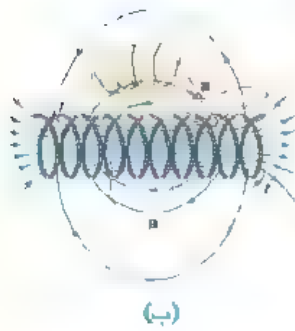
الحل :

$$B = \frac{\mu NI}{2r} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11}$$

$$= \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{7 \times 2 \times 0.11} = 16 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

التيار الكهربي في لولبي كهربي

عندما يوصل طرف ملف لولبي بمصدر تيار كهربي كما في الشكل (٢-٦) يتولد مجال مغناطيسي يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسي لمغناطيس مغناطيسي. ومن الشكل (٢-٦)، يتضح ان خطوط الفيض تمثل مسارات متصلة داخل وخارج الملف. اي ان كل خط بمثابة مسار مغلق. طرف الملف الذي تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسي هو القطب الشمالي للملف، و لطرف الآخر الذي تدخل فيه خطوط الفيض المغناطيسي هو القطب الجنوبي للملف.



شكل (٢-٦)

المجال المغناطيسي لملف لولبي

أ- تخطيط مجال المغناطيسي

ب- تحديد قطبية المجال باستخدام قاعدة أمبير اليد اليمنى

وتتوقف كثافة الفيض المغناطيسي عند أي نقطة على المحور داخل الملف اللولبي الذي يمر به تيار كهربي على كل من :

١- شدة التيار المار حيث $B \propto I$

٢- عدد اللفات في وحدة الأطوال حيث $B \propto n$

$\therefore B \propto nI$

ومنها :

$B = \mu nI$

وتكتب العلاقة السابقة احيانا على الصورة

$$B = \mu \frac{N}{l} I \quad (٣-٢)$$

حيث N العدد الكلي لللفات ملف لولبي طوله l .

ولتحسين قطبي الملف اللولبي الذي يمر به تيار كهربيه، نستخدم قاعدة البريه المسمى باعتبار ان الملف اللولبي يتكون من مجموعه لفات دائريه متحدة المحور (شكل ٢-٦ ب).

١- يتكون ملف لولبي من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A ، احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة بداخله وتقع على محوره، علما بان طوله 20 cm

الحل:

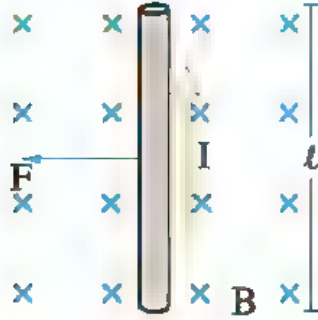
$$B = \frac{\mu NI}{l} = \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{7 \times 0.2} \\ = 3.52 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

٢- احسب شدة التيار الكهربيه اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسي في الملف السابق تساوي 0.815 Tesla في حالة وجود قلب من الحديد داخله ، علما بان النفاذية المغناطيسيه للحديد هي $1.63 \times 10^{-2} \text{ Weber/Am}$

الحل:

$$B = \mu \frac{NI}{l} \\ 0.815 = \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 800 \times I}{0.2} \\ I = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125 \text{ A} = 12.5 \text{ mA}$$

• القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك



شكل (٧-٢)

القوة الناشئة عن مجال مغناطيسي على سلك يمر به تيار ملحوظة، (لعلامة X تمثل الاتجاه داخل الصفحة)

إذا وضعنا سلكا مستقيما يمر به تيار بين قطبي مغناطيس، فإنه تنشأ قوة تؤثر على السلك وتكون عمودية عليه وعلى المجال المغناطيسي كما هو مبين (شكل ٧-٢).

وينعكس اتجاه القوة إذا عكسنا اتجاه التيار فيه أو اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر عليه. وفي كل الأحوال يكون اتجاه القوة عموديا على كل من اتجاه التيار الكهري واتجاه المجال.

تتطلب حركة السلك وجود قوة تحركه، وتكون بدورها عمودية على كل من اتجاه التيار الكهري واتجاه المجال المغناطيسي. ويمكن تحديد اتجاه

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على سلك يمر به تيار كهري موضوع عموديا على اتجاه المجال، وذلك بتطبيق قاعدة اليد اليسرى لظلمنج.



شكل (٨-٢)

قاعدة ظلمنج ليدي اليسرى

نجعل اصبعي اليد اليسرى السبابة والإبهام متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه الفيض المغناطيسي وباقى الأصابع (ماعدا الإبهام) إلى اتجاه التيار، عندئذ يشير الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية، وبالتالي إلى اتجاه حركة السلك، كما في الشكل (٨-٢).

وقد وجد أن القوة المؤثرة على سلك يحمل تيارا كهريا - يسرى عموديا على

مجال مغناطيسي - تتوقف على عدة عوامل هي :

١- طول السلك ℓ

فالقوة F تتناسب طردياً مع طول السلك ℓ ، اي ان $F \propto \ell$

٢- شدة التيار الكهرية I

فالقوة F تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهرية المار في السلك، اي ان $F \propto I$

٣- كثافة الفيض المغناطيسي B

فالقوة F تتناسب طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسي B ، اي ان $F \propto B$

وبذلك يكون ،

$$F \propto BI \ell$$

$$\therefore F = \text{const} \times BI \ell$$

ولقد تم إتخاذ وحدة لكثافة الفيض المغناطيسي هي التيسلا Tesla ، بحيث تولد

قوة تساوي واحد نيوتن على سلك طوله واحد متر، يمر به تيار كهرية شدته واحد أمبير

$$\text{Weber/m}^2 = \text{N/Am}$$

اي

وعندئذ يكون ،

$$F = BI \ell \quad (\text{Newton})$$

(٢ - ٤)

$$B = \frac{F}{I \ell} \quad \text{Tesla}$$

او

التيسلا ،

وحدة كثافة الفيض المغناطيسي ، وهي كثافة الفيض المغناطيسي الذي يولد قوة

مقدارها نيوتن واحد على سلك طوله متر واحد يمر به تيار كهرية شدته أمبير واحد،

عندما يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي.

وعندما يكون السلك الذي يمر به التيار الكهرية في إتجاه يميل على إتجاه المجال

بزاوية θ كما في الشكل (٢-٩) عندئذ يمكن تحليل كثافة الفيض المغناطيسي الى

مركبتين ، إحداهما موازية لاتجاه التيار في السلك، ومقدارها $B \cos \theta$ ، والأخرى

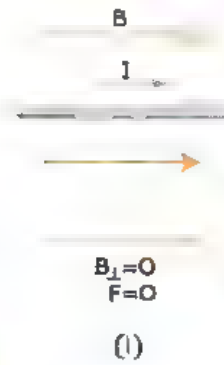
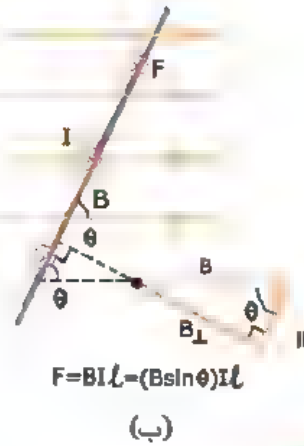
عمودية على إتجاه التيار في السلك، ومقدارها $B \sin \theta$ ، وهي هذه الحالة تكون ،

$$F = BI \ell \sin \theta$$

من هذه العلاقة، تبين ان القوة F تنعدم عندما تكون θ مساوية للصفر، اي عندما يكون

السلك والمجال المغناطيسي متوازيين.

يمكنك تخيل اتجاه القوة فى حالات مختلفة مع مراعاة أن علامة \odot معناها خارج الصفحة وعلامة \otimes معناها داخل الصفحة.

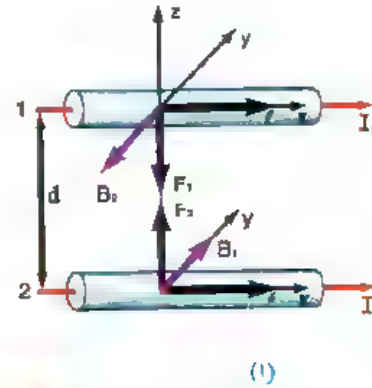
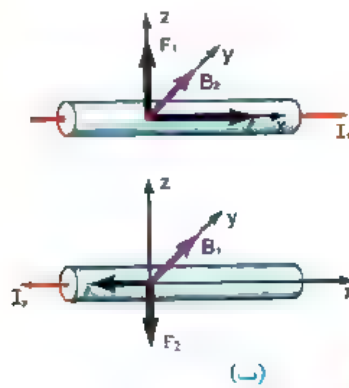


شكل (٩-٢)

سلك يمر به تيار فى اتجاه يميل على اتجاه المجال المغناطيسى بزاوية θ
 ١- تنعدم القوة عند $\theta = 0$ (السلك فى اتجاه المجال) ب- تنشأ قوة عندما تكون θ لا تساوى صفر

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

عندما يمر تيار I_1 فى سلك وتيار I_2 فى سلك آخر مواز، فإنه تنشأ قوة بين السلكين. وتكون القوة تجاذبية، إذا كان التياران فى نفس الاتجاه، وتنافرية إذا كان التياران فى عكس الاتجاه. ويمكن حساب القوة على الوجه التالى:



شكل (٩-٣)

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

١ - التياران فى نفس الاتجاه ب - التياران فى اتجاهين متضادين

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = B_2 I_1 \ell$$

$$= \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \right) I_1 \ell$$

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi d}$$

مثال

١- سلك طوله 30cm يمر به تيار شدته 4A وضع عمودياً على إتجاه مجال مغناطيسي فتأثر بقوة مقدارها 6 N احسب كثافة الفيض المغناطيسي.

الحل:

$$F = BI \ell$$

$$6 = B \times 4 \times 0.3$$

$$B = \frac{6}{4 \times 0.3} = \frac{6}{1.2} = 5 \text{ Tesla}$$

٢- مستخدماً بيانات المثال السابق احسب القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على نفس السلك عندما تكون الزاوية بينهما 30°

الحل:

$$F = BI \ell \sin \theta$$

$$= 5 \times 4 \times 0.3 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ N}$$

تأثير المجال المغناطيسي على سلك يحمل تياراً في مجال مغناطيسي

إذا كان لدينا ملف abcd (شكل ٢-١) مستواه يوازي خطوط الفيض للمجال المغناطيسي المنتظم، فإن كلاً من bc , ad يكونان موازيين لخطوط الفيض. وتكون القوة المؤثرة على كل منها تساوي صفراً، أما كلا من ab , cd فيكونان عموديين على خطوط الفيض، لذا يتأثران بقوتين متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه. وتكونان متوازيتين، وقيمة كل منهما $F = BI \ell_{cd}$ ، وببيهما مسافة عمودية تمثل بطول الضلع ℓ_{ad} أو ℓ_{bc} . ولذا يتأثر الملف بإزدواج يعمل على دوران الملف حول محوره. وتكون قيمة

عزم الإزدواج هي :

العزم = إحدى القوتين × البعد العمودي بينهما

$$\tau = BI \ell_{cd} \cdot \ell_{bc} = BIA$$

حيث A هي مساحة مقطع الملف = $\ell_{bc} \ell_{cd}$

وإذا كان الملف يحتوي على N لفة فإن العزم الكلي يساوي،

$$\tau = BIAN = B|\vec{m}_d| \quad (5-2)$$

حيث $|\vec{m}_d| = IAN$ وهي عزم ثنائي القطب المغناطيسي

Magnetic Dipole Moment وهو كمية متجهة واتجاهها عمودي على المساحة

في اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى في اتجاه الربط، وهو اتجاه التيار. وعلى ذلك إذا كان

الملف عمودياً على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج المؤثر يساوي صفراً.

أما إذا كان مستوى الملف يميل على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج

$$\tau = BIAN \sin \theta \quad (6-2)$$

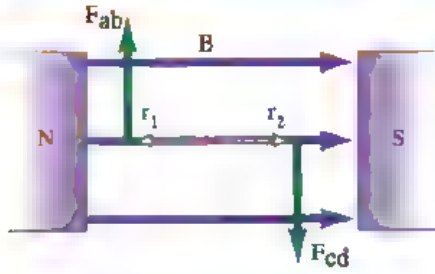
حيث θ هي الزاوية بين العمودي على مستوى الملف (وهو اتجاه عزم ثنائي القطب

المغناطيسي \vec{m}_d) وخطوط الفيض المغناطيسي. ويقاس عزم الإزدواج بالوحدة Nm.

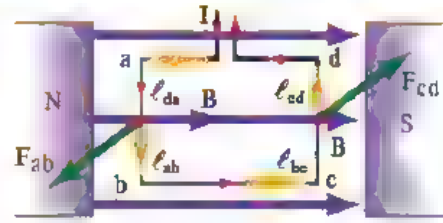
تستخدم فكرة عزم الإزدواج في عمل ملف يمر به تيار كهربي في أجهزة القياس

الكهربية، وأيضا في المحرك الكهربي والذي سيتم تناوله بالتفصيل في نهاية الفصل

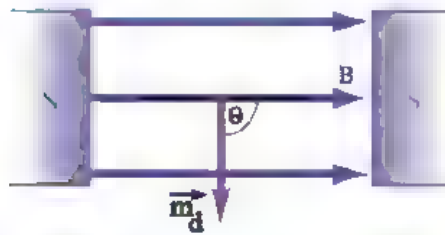
الثالث.



ب- منظر عندما يكون موازياً للمجال



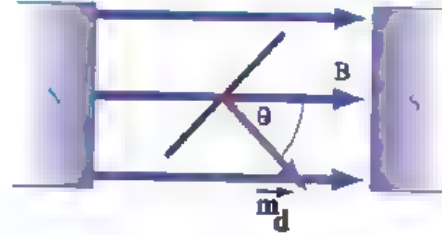
ا- الملف موازى للمجال.



ج- منظر حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى عمودياً على المجال.



هـ - منظر حين يكون الملف عمودياً على المجال أى عزم ثنائى القطب المغناطيسى مواز للمجال ويكون الازدواج صفراً.



د - منظر للملف من أعلى حين يكون عزم ثنائى لقطب المغناطيسى يميل بزاوية θ مع المجال.

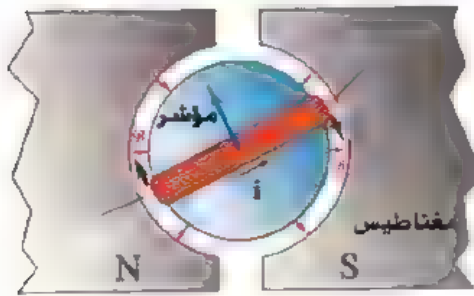
الصفحة ٣٧-٣٨

عزم الازدواج فى ملف يحمل تياراً

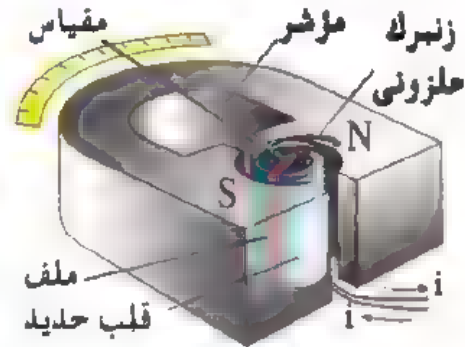
الجلفاتومتر ذو الملف المتحرك

الجلفاتومتر ذو الملف المتحرك Moving Coil Galvanometer

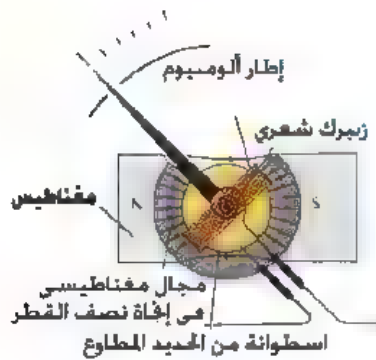
الجلفاتومتر ذو الملف المتحرك Moving Coil Galvanometer جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً فى دائرة ما، وقياس شدتها، وتحديد اتجاهها، وتعتمد فكرة عمله على عزم الإزدواج المؤثر فى ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.



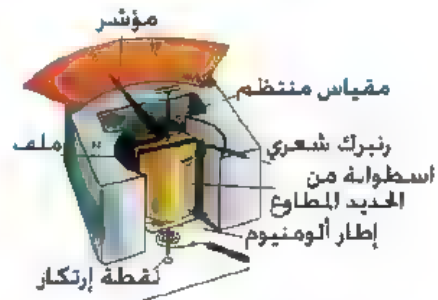
ب - منظر علوى



ا - منظر مبسط للجلفاتومتر عندما يكون المؤشر فى منتصف التلويح



د - منظر علوى



ج - الجلفاتومتر وقد تحول إلى ميللى اميتر .

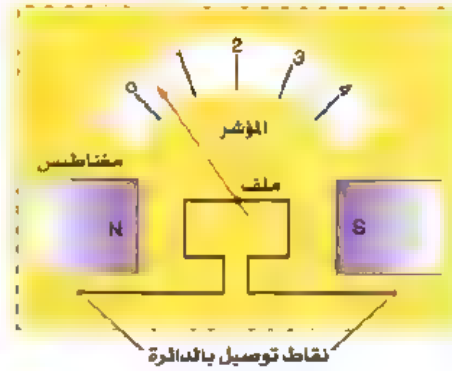
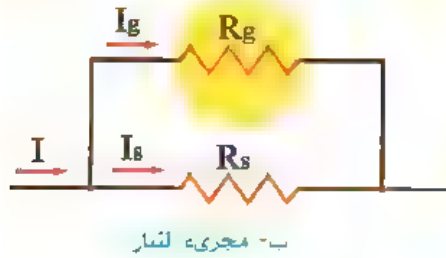
شكل (٩٩-٩٩)

اشكال يوضحه للجلفاتومتر

والأجزاء الرئيسية لهذا الجهاز (شكل ٢-١٢) هي ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره، ويوضع قلب من الحديد المطاوع Soft Iron على هيئة اسطوانة ثابتة، يتركز الملف على حوامل من العقيق، بحيث يقع بين قطبي مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس Horse Shoe. ويتحكم فى حركته زوج من الملفات اللولبية (أو الزنبركية) تعمل كوصلات للتيار بالنسبة للملف. وتبعاً لاتجاه شدة التيار المراد قياسه يمكن للملف والمؤشر أن يتحركا فى اتجاه حركة عقارب الساعة أو فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ويلاحظ من الشكل أن القطبين المغناطيسيين الدائمين مقعران ، بحيث تكون خطوط الميضى المغناطيسى بينهما على هيئة أنصاف اقطار، مما يجعل كثافة الفيض المغناطيسى ثابتة فى الحيز الذى يتحرك فيه الملف مهما كانت زاوية الملف. وخطوط المجال موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطولين له. وهذا بدوره يجعل انحراف المؤشر يتناسب مع شدة التيار المار فى الملف. عندما يمر التيار الكهربى فى الملف من طرفه الأيمن فى اتجاه إلى داخل الورقة ليخرج من طرفه الأيسر فى اتجاه خارج الورقة فإن القوى المغناطيسية ستولد عزمًا يعمل على دوران الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة. وسيتحرك المؤشر حتى يستقر امام قراءة معينة فى الوضع الذى يتزن فيه هذا العزم مع عزم الإزدواج الناشئ عن لى الملفات الزنبركية الذى يعمل فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. وتدل قراءة المؤشر على قيمة شدة التيار. وعندما يمر التيار الكهربى فى الملف فى اتجاه مضاد يتحرك المؤشر فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

نعرف حساسية الجلفانومتر بزاوية انحراف مؤشره عن وضع الصفر عند مرور تيار فيه شدته الوحدة. وتساوى $\frac{\theta}{I}$ ووحداته درجة/ميكرو أمبير (deg/μA)

يستخدم الجلفانومتر لقياس تيارات كهربية ضعيفة. ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر لقياس تيارات شدتها عالية. فالأميتر هو جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرته مباشرة. والجلفانومتر ذو الملف المتحرك يمكن النظر إليه كأميتر غير أنه محدود بحساسية ملفه المتحرك. ولزيادة مدى الجلفانومتر يكون ضرورياً إضافة مقاومة صغيرة جداً تسمى مجزئ التيار R_g توصل على التوازي مع ملف الجلفانومتر R_g كما فى الشكل (٢-١٣).



شكل (٢٢٣-٢٢٤)

تحويل الجلفانومتر إلى مقياس

وبلاحظ أن توصيل مجزئ التيار على التوازي يجعل مقاومة الأميتر ككل صغيرة جداً. وهذا أمر مطلوب حتى لا تتغير شدة التيار المراد قياسه تغيراً ملحوظاً بعد إدخال الأميتر في الدائرة على التوالي.

كما أن الجانب الأعظم من هذا التيار يمر في المجزئ، ويرمز له بالرمز I_g . ويمر في ملف الجلفانومتر تيار صغير فقط شدته I_g . وعندما تكون النهاية العظمى للتيار المراد قياسه هي I فإن ،

$$I = I_g + I_s$$

وعندما تكون مقاومة ملف الجهاز R_g ومقاومة مجزئ التيار R_s فإن ،

$$I_s R_s = I_g R_g$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

لأن المقاومتين R_g , R_s متصلتان على التوازي، فيكون فرق الجهد بين طرفيهما واحداً. ويمكن حل المعادلتين معاً لإيجاد مقاومة مجزئ التيار R_s نجد أن ،

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \quad (٧٢)$$

ويوصل الفولتميتر ذاته على التوازي مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه. لذلك إذ كانت مقاومة ملف الجلفانومتر هي R_g والمقاومة المضاعفة للجهد هي R_m وهي متصلة على التوالي مع R_g ، لذلك تكون أقصى شدة تيار يمر فيها I_g هي شدة التيار التي تلزم لجعل مؤشر الجهاز ينحرف حتى نهاية التدرج.

وعندئذ يكون فرق الجهد على ملف الجهاز هو :

$$V_g = I_g R_g$$

وأقصى فرق جهد مطلوب قياسه.

$$V = I_g R_g + I_g R_m = V_g + I_g R_m$$

وعلى ذلك

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \quad (٢-٨)$$

جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω أو يبلغ أقصى إنحراف له عندما يمر به تيار شدته 1 mA . احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى 50 V

الحل :

$$V_g = I_g R_g = 0.001 \times 0.1 = 1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 49999.9 \Omega$$

يلاحظ هنا أن المقاومة الكلية للفولتميتر هي :

$$R_{\text{total}} = 49999.9 + 0.1 = 50000 \Omega$$



شكل (١٥-١٠) دائرة معايرة الأوميتير

يعتمد قياس مقاومة ما على شدة التيار التي تسرى في الدائرة موضع الاختبار وعلى الإنخفاض في الجهد Voltage Drop عبر المقاومة. وإذا علمنا أن شدة التيار المار I والانخفاض في الجهد عبر المقاومة المجهولة V ، فإن المقاومة R يمكن حسابها من قانون أوم ($R = V / I$). وإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلوماً يمكننا رفع الجلفانومتر من الدائرة ومعايرة الجلفانومتر. يعطى قيمة المقاومة مباشرة (شكل ١٥-١٠). فمع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار في الدائرة. وتقل بالتالي قراءة الجلفانومتر الذي تتم معايرته بهذه الطريقة لتدل قراءته على قيمة المقاومة، ومن ثم يسمى "الأوميتير".

والأوميتير المعتاد موضح في (الشكل ١٥-٢). وهو بمثابة ميكرو أميتر يقرأ $400\mu A$ كحد أقصى ومقاومته 250Ω ، موصل على التوالي مع 3000Ω ، وكذلك مع مقاومة متغيرة مداها 6565Ω ، وعمود كهربي حاف قوته الدافعة الكهربية $1.5 V$ مع إهمال مقاومته الداخلية.

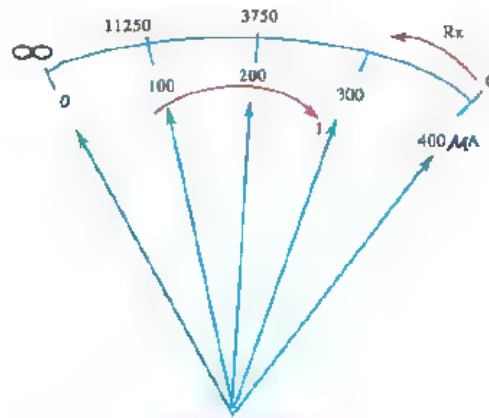
وعندما يتم تلامس طرفي الاختبار للجهاز ($R_x = 0$) يمر في الدائرة تيار كهربي. ولكي ينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج، ينبغي أن تكون مقاومة الدائرة $\frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750 \Omega$

وتضبط المقاومة المتغيرة لينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج حتى يتم تعويض الفرق بين هذه القيمة والمجموع ($250 + 3000 \Omega$) بضبط قيمة المقاومة المتغيرة 500Ω إذا ادخلت الآن أية مقاومة في الدائرة سيمر تيار أقل شدة، وبالتالي سيكون المؤشر أقل

إنحرافاً. ولهذا يمكن معايرة الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التي تم إدخالها. فإذا أدخلت مقاومة R_x تساوي مقاومة الدائرة 3750Ω سيمر في الجهاز $200\mu A$. وسيلغ الإنحراف نصف التدرج، وإذا استبدلت المقاومة بضعف قيمتها أي بضعف مقاومة الدائرة (7500Ω) سيلغ الإنحراف $\frac{1}{3}$ التدرج. ومع مقاومة تساوي 3 امثال مقاومة الدائرة (11250Ω) سيلغ الانحراف $\frac{1}{4}$ التدرج $100\mu A$

يلاحظ هنا أن التدرج المستخدم لقياس المقاومات شكل (٢-١٦) هو عكس اتجاه تدرج التيار، بمعنى أن أقصى انحراف يقاب مقاومة منعدمة (عند تلامس طرفي الاختبار). وكلما زادت المقاومة قل الانحراف. ويلاحظ أيضاً أن اقسام التدرج ليست متساوية، حيث تتباعد في الجهة اليمنى من التدرج، وتتقارب في الجهة اليسرى.

$R_x(\Omega)$	$I(\mu A)$
0	400
3750	200
11250	100
∞	0



شكل (٢-١٦)

تدرج الأوميتير

هذه الأنواع من أجهزة القياس والتي تعتمد على قراءة مؤشر تسمى أجهزة تناظرية Analog ومنها أجهزة تقيس الجهد والتيار والمقاومة Multimeter (شكل ٢-١٧). ويوجد نوع آخر من الأجهزة يعتمد على قراءة اعداد رقمية تدل على قيمة الجهد أو التيار أو المقاومة على شاشة صغيرة بدون مؤشر، وتسمى هذه الأجهزة الأجهزة الرقمية، وتسمى أجهزة القياس الرقمية متعددة الأغراض Digital Multimeter (شكل ٢-١٨)، وتعتمد على الإلكترونيات

الرقمية (الفصل الثامن) . وهذه الأجهزة جميعها تقيس الجهد أو التيار في اتجاه واحد أى DC لذلك فإن هذه الأجهزة تسمى DC/Multimeter. أما إذا كان التيار أو الجهد متردداً AC، فإن الأجهزة المستخدمة حينئذ تسمى AC/Multimeter.



شكل (١١-٢) جهاز

جهاز قياس رقمي متعدد الأغراض



شكل (١١-٣) جهاز

جهاز قياس تناظري متعدد الأغراض

تفصيل

التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- يتولد مجال مغناطيسي حول سلك يمر به تيار كهربي.
- تزداد كثافة الفيض المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربي يمر في سلك مستقيم :
 - (أ) بالإقتراب من السلك.
 - (ب) بزيادة شدة التيار الكهربي.
- يمكن تعيين اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربي يمر في سلك مستقيم باستخدام قاعدة اليد اليمنى للمبهر.
- المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربي في سلك على شكل حلقة دائرية يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسي لمغناطيس قصير.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز ملف دائري يمر به تيار كهربي على :
 - (أ) عدد لفات الملف الدائري.
 - (ب) شدة التيار المار في الملف الدائري.
 - (ج) نصف قطر الملف الدائري.
- يتعين اتجاه المجال المغناطيسي عند مركز ملف دائري يمر به تيار كهربي باستخدام قاعدة بريمة اليد اليمنى.
- المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربي في سلك ملفوف لفا حلزونيا يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسي لمغناطيس قصير.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسي عند أي نقطة على المحور داخل الملف اللولبي الذي يمر به تيار كهربي على كل من :
 - (أ) شدة التيار المار.
 - (ب) عدد اللفات في وحدة الأطوال.
- لتعيين قطبية الملف اللولبي الذي يمر به تيار كهربي تستخدم قاعدة البريمة اليمنى.
- وحدة كثافة الفيض المغناطيسي Web / m^2 ، او $Tesla$ ، او N/Am

- العوامل التي تتوقف عليها القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربي موضوع في المجال هي :
 - (أ) طول السلك.
 - (ب) شدة التيار.
 - (ج) كثافة الفيض المغناطيسي.
 - (د) الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسي.
- الجلفانومتر ذو الملف المتحرك : جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات ضعيفة جداً في دائرة ما وقياس شدتها وتحديد اتجاهها.
- تعتمد فكرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر في ملف قابل للحركة في مجال مغناطيسي.
- حساسية الجلفانومتر تقاس بزاوية إنحراف مؤشره عند مرور تيار في ملفه شدته الوحدة.
- الأميتر : جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار في دائرة مباشرة، وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك.
- لزيادة مدى الجلفانومتر توصل مقاومة صغيرة جداً. تسمى مجزئ التيار على التوازي مع ملفه.
- مقاومة الأميتر (مع مجزئ التيار) صغيرة جداً. ولذلك لا تؤثر تأثيراً ملحوظاً في تيار الدائرة عند توصيله على التوالي فيها.
- الفولتميتر : جهاز يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أي نقطتين في دائرة كهربية وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل مع ملفه على التوالي مقاومة كبيرة جداً تسمى المقاومة المضاعفة للجهد.
- نظراً لكبر مقاومة الفولتميتر فإنه لا يسحب تياراً يذكر من الدائرة الأصلية عند توصيله على التوازي مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه.
- الأوميتر : جهاز يستخدم لقياس قيمة مقاومة مجهولة.
- الأوميتر هو ميكرو اميتر يوصل على التوالي مع مقاومة ثابتة وأخرى متغيرة وعمود جاف قوته الدافعة 1.5V ، فينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج إذا تلامس طرفاه بدون مقاومة. وإذا ادخلت مقاومة بين طرفيه تقل شدة التيار ويقل إنحراف مؤشره، وهو معايير لقراءة قيمة المقاومة مباشرة.

القوانين والعلاقات الهامة :

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسي B عند نقطة بعدها العمودي d متر عن سلك مستقيم

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \text{ weber/m}^2 \text{ (or Tesla) , يمر به تيار شدته } I \text{ امبير من العلاقة ,}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز ملف دائري نصف قطره r وشدة التيار I المار فيه وعدد لفاته N من العلاقة ,

$$B = \frac{\mu NI}{2r} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسي عند أى نقطة على المحور داخل ملف لولبي عدد لفاته N وطوله l ويمر به تيار كهربي B من العلاقة ,

$$B = \frac{\mu IN}{l} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين القوة المؤثرة على سلك طوله l يحمل تياراً كهربياً I وموضوعاً فى مجال مغناطيسي كثافة فيضه B من العلاقة ,

$$F = B I l \sin \theta$$

حيث θ هى الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسي.

- يعطى عزم الازدواج المؤثر على ملف مستطيل مساحة وجهه A وعدد لفاته N يمر به تيار كهربي I موضوع موازياً لمجال مغناطيسي كثافة فيضه B بالعلاقة.

$$\tau = B I A N = \vec{m}_d \cdot \vec{B} \quad \text{Nm}$$

حيث $\vec{m}_d = I A N$ هو عزم ثنائي القطب المغناطيسي عمودياً على مستوى الملف.

- تتعين مقاومة مجزئ التيار فى الأميتر من العلاقة $R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$, حيث R_g مقاومة مجزئ التيار , I_g أقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر , R_g مقاومة ملف الجلفانومتر , I شدة التيار الكلية.

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \text{ تتعين المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر من العلاقة}$$

- حيث R_m المقاومة المضاعفة للجهد , V الجهد الكلى , V_g فرق الجهد على ملف الجهاز , I_g شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدرج.

الأسئلة

أولاً: أسئلة المقال

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى فى كل حالة من الحالات الآتية :

- حول سلك مستقيم يمر به تيار كهربى.
- عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.
- عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى.

٢- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال ؟

٣- اثبت أن القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى كثافة فيضه B على سلك مستقيم طوله l يمر به تيار كهربى I موضوع عمودياً على اتجاه المجال تتعين من العلاقة.

$$F = B I l$$

٤- اثبت أن عزم الأزواج المؤثر على ملف عدد لفاته N ومساحة مقطعة A يمر به تيار كهربى شدته I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه B تعطى من العلاقة.

$$\tau = B I A N$$

٥ - صف مع الرسم تركيب الجلفانومتر الحساس موضحاً فكرة عمله.

٦ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى أميتر مع استنتاج العلاقة المطلوبة.

٧ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى فولتميتر مع استنتاج العلاقة المستخدمة.

٨ - علل لما يأتى :

- وجود اسطوانة من الحديد المطاوع داخل ملف الجلفانومتر.
- بتصل ملف الجلفانومتر ذى الملف المتحرك من أسفل بسلك زبركى.

- (ج) عند استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك كقولتمتر توصل مقاومة كبيرة على التوالى مع ملف الجلفانومتر .
 (د) يدمج الأميتر على التوالى فى الدائرة بينما يدمج القولتمتر على التوازي .
 (هـ) توصل مقاومة عيارية بالأوميتتر .
 (و) يجب أن تكون القوة الدافعة الكهربية للعمود المتصل بالأوميتتر ثابتة .

٩ - ماذا يقصد بكل من :

المقاومة المضاعفة للجهد - مجزئ التيار .

وما فائدة كل منهما ؟ استنبط القانون الخاص بكل منهما .

- ١٠ - اشرح كيف يمكنك استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك فى قياس كل من شدة التيار الكهربي - القوة الدافعة الكهربية - المقاومة الكهربية .

ثانياً، المسائل

- ١ - ملف مساحة مقطعه 0.2m^2 وضع عمودياً على خطوط فيض مغناطيسى منتظم كثافته 0.04Weber/m^2 احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف .
 (0.008 Weber)

- ٢ - سلك طوله 10 cm يمر به تيار شدته 5A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1 Tesla . احسب القوة المؤثرة على السلك عندما يكون :

- (أ) السلك فى وضع عمودى على المجال المغناطيسى (0.5 N)
 (ب) السلك يصنع زاوية 45° مع المجال . (0.356 N)
 (ج) السلك مواز لخطوط المجال المغناطيسى (صفر)

- ٣ - سلك مستقيم قطره 2 mm يمر به تيار شدته 5A احسب كثافة الفيض المغناطيسى على بعد 0.2 m
 ($5 \times 10^{-6}\text{Tesla}$)

- ٤ - ملف دائرى نصف قطره 0.1m يمر به تيار شدته 10A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركزه (علما بأن الملف يتكون من لفه واحدة) .

($2 \pi \times 10^5\text{Tesla}$)

٥- ملف لولبى طوله 50cm عدد لفاته 4000 لفة يمر به تيار شدته 2A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وعلى محوره. (0.02Tesla)

٦- ملف مستطيل طوله 12cm وعرضه 10cm وعدد لفاته 50 لفة يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيض 0.4 Tesla احسب العزم المغناطيسى المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف موازياً للمجال (0.72Nm)

٧- جلفانومتر مساحة مقطع ملفه $(12 \times 5) \text{ cm}^2$ معلق فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.1 Tesla فإذا كان عدد لفاته 600 لفة احسب شدة التيار اللازم لتوليد عزم ازدواج قدره 1Nm (2.78 A)

٨- ملف عدد لفاته 500 لفة يمر به تيار شدته 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.25Tesla ، فإذا كانت مساحة مقطعه 0.2 m^2 احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما تكون الزاوية بين العمودى على الملف والمجال 30° (125 Nm)

٩ - ملف اميتر لا يتحمل تياراً اكبر من 40 mA فإذا كانت مقاومة ملفه 0.5Ω براد استخدامه لقياس تيار شدته 1A كم تكون مقاومة مجزئ التيار اللازم لذلك؟ (0.021 Ω)

١٠ - جلفانومتر يمر به تيار شدته 0.02A لينحرف مؤشره إلى نهاية التدرج، وعندئذ يكون الفرق فى الجهد بين طرفيه 5V ، كم تكون قيمة المقاومة المضاعفة للجهد التى تجعله صالحاً لقياس فرق جهد قدره 150V ؟ (7250 Ω)

١١- فولتميتر معد لقراءة 150V عند انحراف مؤشره إلى نهايته، فإذا كانت مقاومة ملفه 50Ω ، وكانت شدة التيار المار فيه $4 \times 10^{-4} \text{ A}$ ، احسب قيمة المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لذلك.

(374950 Ω)

١٢- جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω وبقرا عند نهاية تدريجه تياراً شدته $5A$ اردنا زيادة قراءته بمقدار 10 امثال، ما قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازمة؟

(0.01 Ω)

١٣- اميتر مقاومته 30Ω احسب قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازم لإنقاص حساسية الجهاز إلى الثلث . وما مقدار المقاومة الكلية المكافئة للاميتر والمجزئ حينئذ؟

(15 Ω , 10 Ω)

١٤- جلفانومتر مقاومته 54Ω إذا وصل بمجزئ التيار (أ) يمر في الجلفانومتر 0.1 من التيار الكلي، أما إذا وصل بمجزئ آخر (ب) فإن التيار الذي يمر فيه يصبح 0.12 من التيار الكلي، أوجد مقدار كل من المقاومتين (أ) ، (ب).

 $(6 \, \Omega, 7.63 \, \Omega)$

١٥- جلفانومتر ذو ملف متحرك مقاومته 50Ω ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه عندما يمر به تيار شدته $0.5A$ كيف يمكن تحويله بحيث يقيس :

(١) فروق في الجهد اقصاها 200V (توصل مقاومة 350Ω على التوالي).

(ب) تيار کهریبي شدته 2A (توصل مقاومت 16.6Ω على التوازي).

۱۶- مللی آمپر مقاومت $5\ \Omega$ اقصی تيار بنحمله ملفه 15 mA يراد تحويله إلى اومپتر

باستخدام عمود قوته الدافعة الكهربائية 1.5 V ومقاومته الداخلية $1\ \Omega$ ، احسب قيمة

المقاومة العيارية اللازمة والمقاومة الخارجية التي تجعل مؤشره ينحرف إلى 10mA

وكذلك شدة التيار المار به إذا وصل بمقاومة خارجية مقدارها $400\ \Omega$

(3 mA, 50 Ω , 94 Ω)

الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى



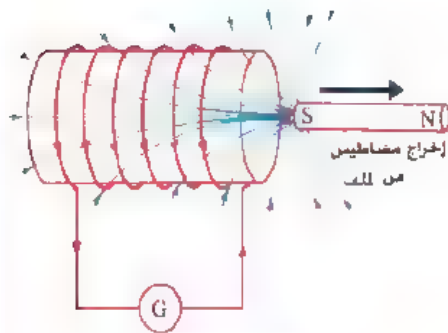
الفصل الثالث : الحث الكهرومغناطيسي

الفصل الثالث

الحث الكهرومغناطيسي

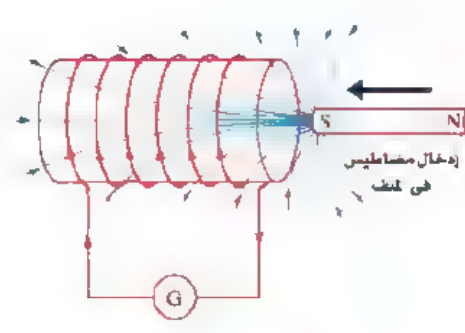
راينا أن مرور تيار كهربى فى موصل يسبب مجالاً مغناطيسياً. وبمجرد اكتشاف أورستد Oersted للارتباط بين المجالات الكهربائية والمغناطيسية، ظهر تساؤل، هل من الممكن أن يولد مجال مغناطيسى تياراً كهربياً؟ وهو ما أجاب عليه فاراداي Faraday فى أحد أعظم الانتصارات فى الفيزياء، وهو اكتشاف الحث الكهرومغناطيسى Electromagnetic Induction. الذى تبنى عليه فكرة عمل ونشغيل معظم الأجهزة الكهربائية كالمولدات والمحولات الكهربائية.

قام فاراداي بإعداد ملف من سلك من النحاس، لثاقه معزولة عن بعضها البعض، وعندما انتهى من إعداده، قام بتوصيل طرفيه بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف شكل (٣-١). وعندما أدخل هاراداي مغناطيساً فى الملف، لاحظ أثناء ادخاله أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف انحرافاً لحظياً فى اتجاه معين. وعندما أخرج هاراداي المغناطيس من الملف لاحظ أثناء إخراجها أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف فى الاتجاه المضاد. هذه الظاهرة أطلق عليها اسم "الحث الكهرومغناطيسى". حيث تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة، Induced emf وكذلك يتولد تيار كهربى



شكل (٣-١) (١٩٥٣)

عند خروج المغناطيس



شكل (٣-٢) (١٩٥٣)

عند دخول المغناطيس

مستحث في الملف أثناء ادخال المغناطيس في الملف أو اخرجه منه، بحيث يكون رد الفعل في اتجاه يعارض الفعل، فإن كان المغناطيس يدخل فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل على مقاومة الإدخال، وإن كان المغناطيس يخرج فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل على استبقاء المغناطيس أو جذبها للداخل.

وبعد تفكير توصل فاراداي إلى أن القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار الكهربي المستحث يتولدان في الدائرة كنتيجة لقطع لفات السلك خطوط الفيض المغناطيسي أثناء حركة المغناطيس.

تجارب فاراداي

ومن خلال تجارب عديدة أمكن لفاراداي استخلاص ما يلي :

١ - الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي الذي يتغير فيها المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض تولد قوة دافعة مستحثة في الموصل. ويتوقف اتجاهها على اتجاه حركة الموصل.

٢ - يتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض. أي أن ،

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

حيث emf متوسط لقوة الدافعة المستحثة ، $\Delta \phi_m$ التغير في خطوط الفيض المقطوعة خلال الزمن Δt

٣ - مقدار القوة الدافعة المستحثة يتناسب طردياً مع عدد لفات الملف الذي يقطع خطوط الفيض أي أن ،

$$emf \propto N$$

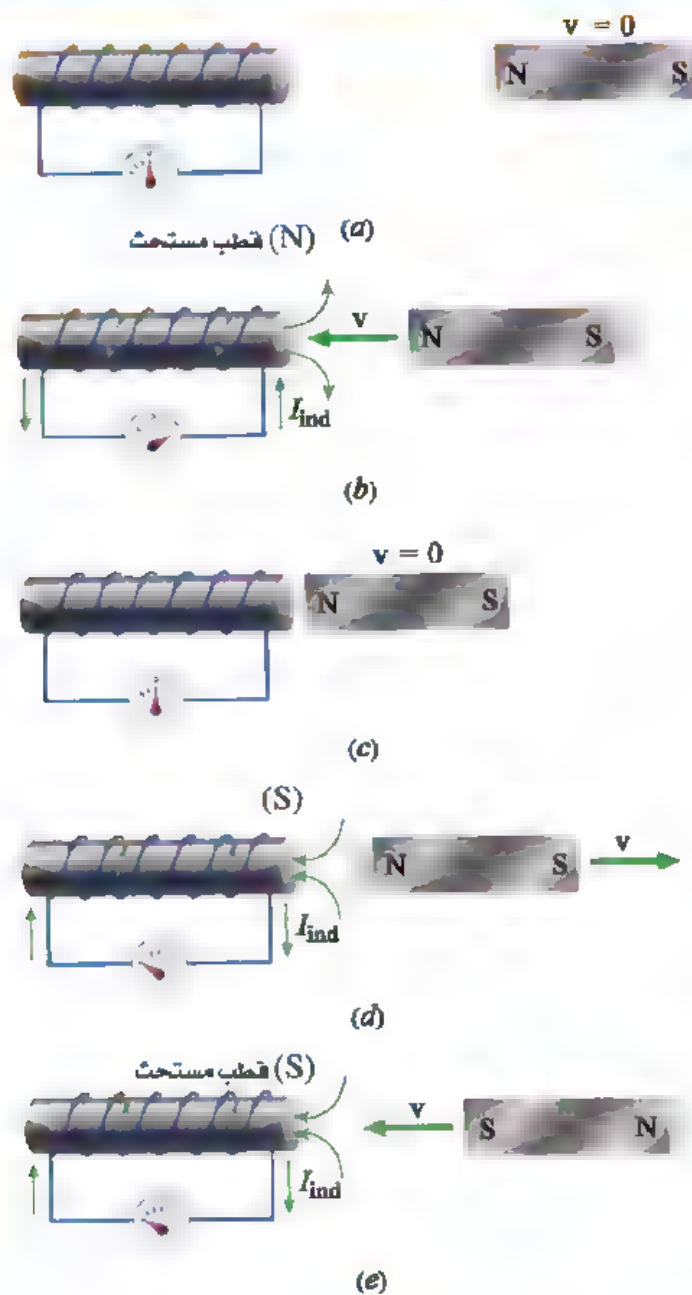
وبالتالي يمكن بتحليل النتائج السابقة استنتاج العلاقة ،

$$emf = - N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \quad (١-٣)$$

وهو ما يعرف بقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي.

تدل الإشارة السالبة في هذا القانون على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة (وايضاً اتجاه

التيار المستحث) يعاكس التغير المسبب له. وهو ما يعرف بقاعدة لنز **Lenz's Rule**



شكل (٢٠-١٠)

قاعدة لير

القاعدة لenz على ما يلي :

تنص قاعدة لنز على ما يلي :

يكون اتجاه التيار الكهربى المستحث بحيث يعاكس التغير المسبب له.

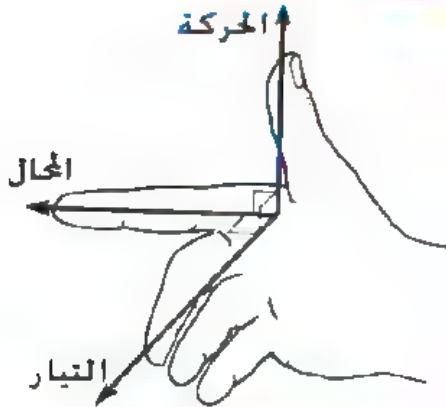
وبوضح شكل (٣-٢) تطبيقاً مباشراً لقاعدة لنز، فعند تقريب القطب الشمالى للمغناطيس من الملف، يمر التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطبا شماليا عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالى للمغناطيس. فتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.

وعند إبعاد القطب الشمالى للمغناطيس عن الملف يكون اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطبا جنوبيا. فتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين (شمالى وجنوبى) على الاحتفاظ بالمغناطيس، أى مقاومة حركة إبعاد القطب المؤثر.

القاعدة اليد اليمنى لفليمنج Hand Rule

بين فاردادى فى واحدة من تجاربه العديدة أن التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يسرى فى اتجاه عمودى على المجال المغناطيسى. وبعد ذلك بعدة سنوات اختار فليمنج هذه التجربة لوضع قاعدة بسيطة تربط بين اتجاه حركة السلك واتجاه المجال واتجاه التيار المستحث. تعرف هذه القاعدة باسم قاعدة اليد اليمنى لفليمنج وهى :

قاعدة اليد اليمنى لفليمنج Hand Rule

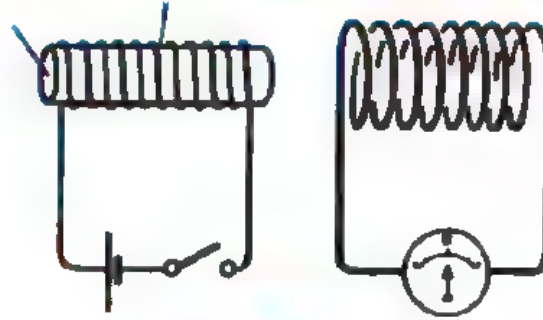


شكل (٣-٣)

قاعدة اليد اليمنى لفليمنج

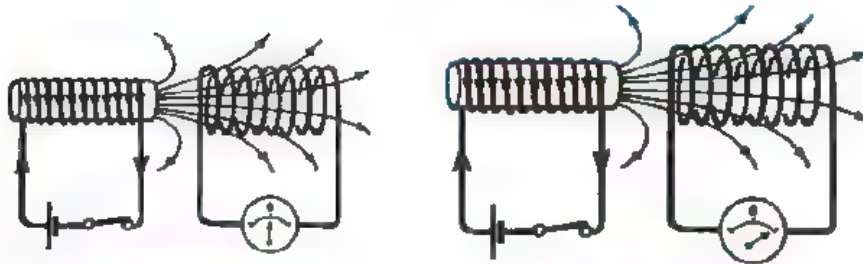
اجعل أصابع اليد اليمنى الابهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) متعامدة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال والابهام إلى اتجاه الحركة، وعندئذ يشير الأوسط (ومعه باقى الأصابع) إلى اتجاه التيار المستحث (شكل ٣-٣).

الكهرومغناطيسية



شكل (٣-٤) (أ)

(أ) في حالة عدم وجود تيار في الملف الأول لا توجد قوة دافعة كهربية في الملف الثاني



شكل (٣-٤) (ب)

(ب) بعد استقرار الفيض المغناطيسي فإن التيار في الملف الثاني ينعدم

شكل (٣-٤) (ج)

(ج) لحظة غلق دائرة الملف الأول فإن قوة دافعة كهربية تتولد في الملف الثاني

إذا وضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر كما في شكل (٣-٤) فإن تغير شدة التيار الكهربي في أحدهما يولد قوة دافعة كهربية مستحثة في الآخر. وتبعا لقانون فاراداي، تتناسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة مع معدل التغير في الفيض المغناطيسي المار به. ونظراً لأن الفيض المغناطيسي يتناسب طردياً مع شدة التيار في الملف الأول. فإن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب مع معدل التغير في شدة التيار في الملف الأول.

ولهذا يكون :

$$(emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$(emf)_2 = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (٣ - ٢)$$

حيث M معامل الحث المتبادل بين الملفين. ووحدته تكافئ VsA^{-1} وهو ما يسمى بالهنرى **Henry**. فالهنرى هو وحدة قياس معامل الحث بصفة عامة.

وتدل الإشارة لسالبة - كما تقتضى قاعدة - لنز على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة أو اتجاه التيار المستحث يكون بحيث يقاوم التغير المسبب له.

ويتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين على العوامل الآتية :

١ - وجود قلب من الحديد **Core** داخل الملفين.

٢ - حجم وعدد لفات الملفين **Coils**.

٣ - المسافة الفاصلة بينهما.

وبعد المحول الكهرى اوضح مثال للحث المتبادل.

شرحها انما مشايرى

ويمكن دراسة الحث المتبادل بين ملفين تجريبياً كما يلى :

يوصل أحد الملفين ببطارية ومفتاح وريوستات. وعندئذ يعرف هذا الملف بالملف الابتدائى.

ويوصل الملف الثانى بجلفانومتر حساس، صفره فى المنتصف، ويعرف هذا الملف بالملف الثانوى

شكل (٣-٥). ثم تتبع الخطوات التالية،

١ - تقفل دائرة الملف الابتدائى. ويتقريب (أو ادخال) الملف الابتدائى من (أو فى) الملف الثانوى،

يلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة

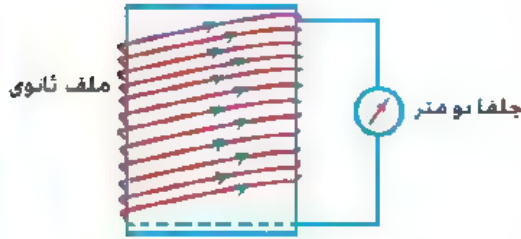
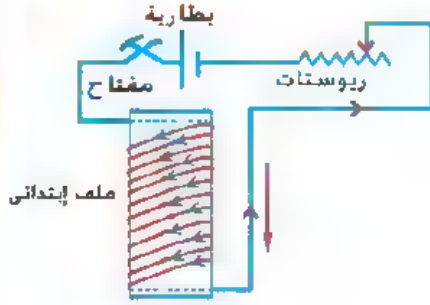
تولدت فى الملف الثانوى، نتيجة لتغير خطوط الفيض المغناطيسى التى تمر بلفات هذا الملف.

وعند إبعاد (أو إخراج) الملف الابتدائى عن (أو من) الملف الثانوى، ينحرف مؤشر الجلفانومتر

فى اتجاه مضاد.

٢ - يتم ادخال الملف الابتدائي في الملف

الثانوي، وتزداد شدة التيار المار في الملف
الابتدائي، فينحرف مؤشر الجلفانومتر
في الملف الثانوي في اتجاه معين، وعند
إنقاص شدة التيار المار في الملف
الابتدائي ينحرف مؤشر الجلفانومتر
في الإتجاه المضاد. مما يدل على تولد
قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي
أثناء زيادة شدة التيار في الملف
الابتدائي أو أثناء إنقاصه.



شكل (٣٠-٥)

دراسة العت المتبادل بين ملفين

٣ - مع وجود الملف الابتدائي داخل الملف
الثانوي، تقفل دائرة الملف الابتدائي.
عندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر في
إتجاه معين، ثم تفتح دائرة الملف
الابتدائي، وعندئذ ينحرف مؤشر
الجلفانومتر في إتجاه مضاد، مما يدل

على أن قوة دافعة مستحثة تتولد في الملف الثانوي أثناء قفل الدائرة أو فتحها. وتحليل
الملاحظات السابقة نجد ما يلي :

١ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه معين في الحالات الآتية :

(أ) أثناء تقريب أو ادخال الملف الابتدائي في الملف الثانوي.

(ب) أثناء زيادة شدة التيار في الملف الابتدائي

(ج) عند قفل الدائرة الاستدائية أثناء وجود الملف الابتدائي داخل (أو قرب) الملف الثانوي.

تتولد في جميع هذه الحالات قوة دافعة كهربية في الملف الثانوي عند حدوث أى تغير
موجب في الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الملف الثانوي. ويكون إتجاه القوة الدافعة الكهربية
المستحثة وإتجاه التيار المستحث في إتجاه عكسي (أى في عكس إتجاه التيار بالملف الابتدائي)،

حتى يكون المجال المغناطيسي المستحث في اتجاه مضاد ليقاوم زيادة المجال المغناطيسي المؤثر.

٢ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد في الحالات الآتية :

(أ) أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائي من الملف الثانوي.

(ب) أثناء نقص شدة التيار في الملف الابتدائي.

(ج) عند فتح الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائي داخل (أو قرب) الملف الثانوي.

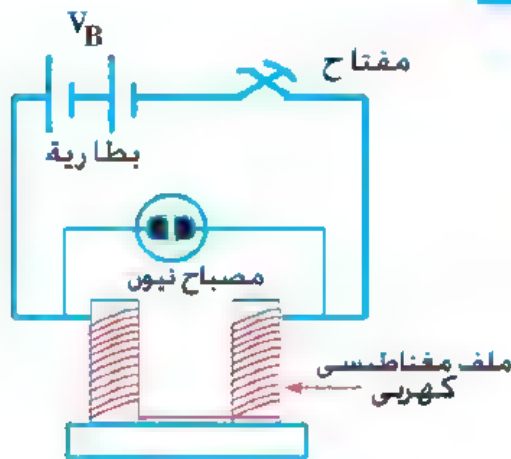
وهي الحالات التي تتناقص فيها شدة المجال المغناطيسي المؤثر. ويكون اتجاه القوة

الدافعة الكهربية المستحثة واتجاه التيار المستحث في اتجاه طردى، حتى يكون المجال

المغناطيسي الناشئ عنه في نفس الاتجاه ليقاوم تناقص المجال المغناطيسي المؤثر.

وهذه الملاحظات توضح قاعدة لنز حيث يكون اتجاه التيار المستحث بحيث يقاوم التغير

المسبب له.



شكل (٦-٣)

توضيح أثر الحث الذاتي في ملف

يمكن إدراك ما نغنيه

بالحث الذاتي ملف بتوصيل

ملف مغناطيس كهربي قوى

(عدد لفاته كبير) على التوالي

مع بطارية ومفتاح ليتمر به

تيار كهربي كما في شكل

(٦-٣). يتولد عن مرور

التيار الكهربي في الملف

مجال مغناطيسي قوى حيث

تعمل كل لفة كمغناطيس قصير

بحيث تقطع اللفات المجاورة

خطوط الفيض المغناطيسي له. عند فتح الدائرة يلاحظ مرور شرر كهربي بين طرفي المفتاح.

يفسر هذا بأن قطع التيار الكهربي في دائرة الملف يؤدي إلى تلاشي المجال المغناطيسي للفاته،

فيغير المعدل الزمني الذي تقطع به كل لفة خطوط الفيض، فتتولد فيها قوة دافعة مستحثة.

والقوة الدافعة المستحثة في لفات الملف ككل ناتجة عن الحث الذاتي للملف نفسه.

هذه القوة الدافعة المستحثة الناشئة عن الحث الذاتي للملف عند قطع التيار فيه - أي

عند فتح الدائرة - تعمل تبعاً لقاعدة لنز على توليد تيار تأثيري هي نفس اتجاه التيار الأصلي

مما يؤدي إلى ظهور شرر عند طرفي المفتاح.

وعندما يكون عدد لفات الملف كبيراً، تكون القوة الدافعة المستحثة عند قطع التيار emf_1

أكبر كثيراً من القوة الدافعة الكهرلية (V_B) للبطارية، وقد تسبب توهج مصباح نيون يوصل على

التوازي بين طرفي الملف (يتطلب مصباح النيون لتوجهه جهداً يصل إلى حوالي 180 فولت).

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهرلية المستحثة تتناسب طردياً مع المعدل الزمني لتغير الفيض

المغناطيسي - الذي يتناسب بدوره مع المعدل الزمني لتغير التيار في الملف - فإن القوة الدافعة

المتولدة بالحث الذاتي تتناسب طردياً مع المعدل الزمني لتغير التيار في الملف أي أن :

$$(emf)_1 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_1 = - L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (3-3)$$

حيث L ثابت التناسب، ويعرف بمعامل الحث الذاتي للملف. وتدل الإشارة السالبة على

أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها (قاعدة لنز). ويعبر عن L بالعلاقة

$$L = - \frac{emf}{\Delta I / \Delta t} \quad (4-3)$$

أي أن معامل الحث الذاتي للملف يقدر بالقوة الدافعة الكهرلية المستحثة، عندما يكون

المعدل الزمني لتغير التيار يساوي الوحدة (أي عندما يتغير التيار بمقدار أمبير واحد في

الثانية) ويقام الحث الذاتي للملف بوحدة تسمى الهنرى.

هو معامل الحث الذاتي لملف حين تتولد قوة دافعة مستحثة تساوي فولت واحد عندما

يتغير التيار بمعدل أمبير واحد في الثانية.

اي ان ،

واحد هنرى = $\frac{\text{واحد فولت} \cdot \text{ثانية}}{\text{امبير}}$

$$1H = Vs/A$$



العالم هنرى

ويتوقف معامل الحث الذاتي للملف على شكله الهندسى، وعلى عدد لفاته، وعلى المسافة بين اللفات، أى على طول الملف، وعلى نفاذية القلب المغناطيسية.

ومن تطبيقات الحث الذاتي إضاءة المصباح الفلورسنت، حيث يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المخزنة فى الملف فى أنبوبة مفرغة من الهواء، وبها غاز خامل، مما يسبب تصادمات

بين ذراته، تؤدى إلى تأنيها واصطدامها مع سطح الأنبوبة المغطى بالمادة الفلورسكية، مما يؤدى إلى انبعاث الضوء المرئى.

التحريك الكهرومغناطيسى

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسى التى تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة، تسمى التيارات الدوامية. والتغير فى عدد خطوط الفيض المغناطيسى المقطوعة يتم إما بتحريك القطعة المعدنية فى مجال مغناطيسى ثابت، وإما بتعرض القطعة المعدنية لمجال مغناطيسى متغير، وليكن المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار متردد.

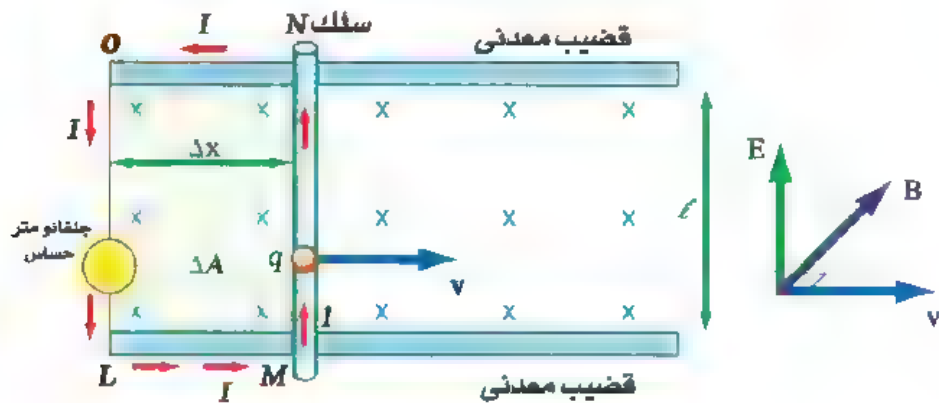
ويستفاد من التيارات الدوامية فى صهر الفلزات فيما يسمى بأفران الحث Induction Furnaces.

التيار الحثسى فى سلك مستقيم

إذا وضع سلك طوله l عموديا على مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه B (اتجاهه

عمودي على الورقة إلى الداخل) (شكل ٣-٧)، وتم تحريك السلك في اتجاه عمودي على المجال بسرعة v ، بحيث أريج مسافة قدرها Δx في زمن قدره Δt ، فإن التغير في المساحة يكون-

$$\Delta A = \ell \Delta x$$



شكل (٣-٧)

توليد e.m.f مستحث في سلك مستقيم

ويكون التغير في الفيض هو :

$$\Delta \phi_m = B \Delta A = B \ell \Delta x$$

وتتبعين القوة الدافعة الكهربية عندئذ من العلاقة :

$$emf = - \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$emf = - \frac{B \ell \Delta x}{\Delta t} = - B \ell v$$

حيث v هي السرعة التي يتحرك بها السلك. والإشارة السالبة لمراعاة قاعدة لنز.

وبالتالي يكون مقدار القوة الدافعة هي :

$$emf = B \ell v$$

(٣-٥)

وإذا كانت الزاوية بين اتجاه السرعة التي يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض هي θ

هنا ،

$$emf = B \ell v \sin \theta$$

(٣-٦)

دينامو التيار المتردد (المولد الكهربى) :

المولد الكهربى أو الدينامو AC Generator - Alternator - Dynamo هو وسيلة أو جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، عندما يدور ملفه فى مجال مغناطيسى، ويمكن نقل التيار المستحث بواسطة أسلاك لمسافات طويلة.

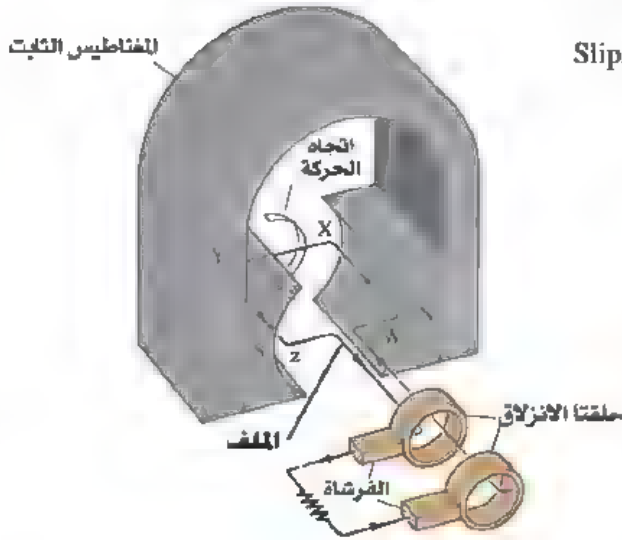
ويتركب المولد الكهربى البسيط كما فى الشكل (٣-٨) من أجزاء أربعة هى :

(أ) المغناطيس الثابت Field Magnet

(ب) الملف Armature (Loop)

(ج) حلقتا الزلاق Slips

(د) فرشتان Brushes



الشكل (٣-٨)

رسم مبسط للدينامو أى مولد التيار المتردد

يمكن ان يكون المغناطيس الثابت مغناطيساً دائماً أو مغناطيساً كهربياً. والملف إما ان يكون ملفاً من لفة واحدة، أو عدة لفات، بين قطبى المغناطيس وتتصل بنهايتيه حلقتان معدنيتان تدوران مع دوران الملف فى المجال المغناطيسى. التيارات المستحثة فى الملف تمر إلى الدائرة الخارجية خلال فرشتين Brushes من الجرافيت، كل منهما تلامس واحدة من الحلقتين المنزلقتين.

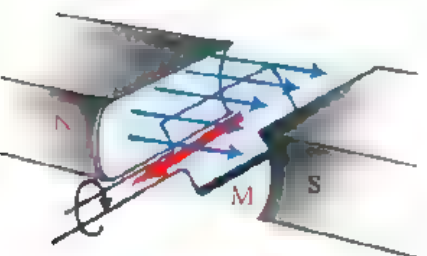
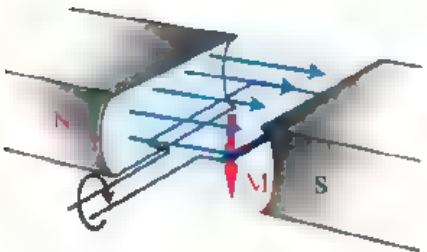
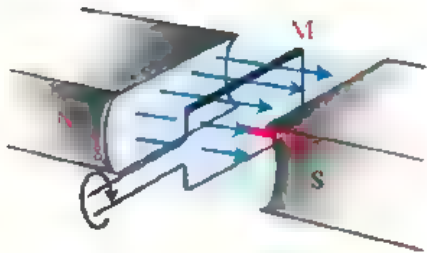
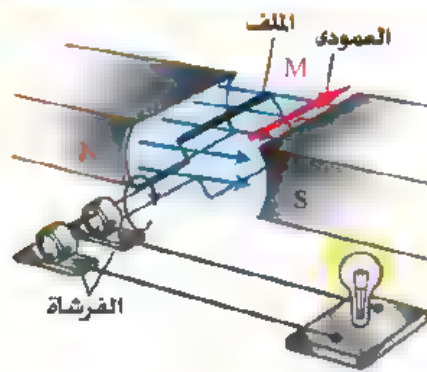
والشكل (٩-٣) يمثل دوران الملف بين قطبى المغناطيس وإتجاه التيار المستحث فى لحظة

ما .

نأخذ فى الاعتبار الوجه M من الملف الدوار فى أوضاع مختلفة كما فى شكل (٩-٣).

عندما يدور الملف حول محوره فى دائرة نصف قطرها r تكون السرعة الخطية هى :

$$v = \omega r$$



شكل (٣-٩)

تغير التيار المستحث خلال دورة كاملة لملف

حيث ω السرعة الزاوية وتساوي $(2\pi f)$
حيث f هو التردد. وبالتعويض عن v في
العلاقة (٦-١١) نجد أن ،

$$e.m.f = B \ell \omega r \sin \theta$$

حيث θ هي الزاوية بين اتجاه السرعة
التي يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض.
عندما يكون الملف في الوضع العمودي على
اتجاه الفيض فإن القوة الدافعة المستحثة تكون
صفراً.

ومن ثم تكون القوة الدافعة المستحثة

الكلية هي :

$$emf = 2B \ell \omega r \sin \theta$$

لكن مساحة وجه الملف (A) هي ،

$$A = (\ell)(2r)$$

$$emf = BA \omega \sin \theta$$

وعندما يكون عدد لفات الملف N تصبح

القوة الدافعة المستحثة اللحظية هي :

$$emf = NBA \omega \sin \theta \quad (٣-٧)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن القوة الدافعة

المستحثة تتغير جيبياً (أي بموجب منحنى الجيب

Sine Curve) مع الزمن. وهذه الحقيقة موضحة

في الشكل (٣-١). فالقوة الدافعة الكهربائية

المستحثة تتغير من نهاية عظمى موجبة عند

$\theta = 90^\circ$ ، إلى صفر عند $\theta = \text{zero}$

وتكون النهاية العظمى للقوة الدافعة

المستحثة هي :

$$(8-3) \quad (emf)_{\max} = NBA \omega = NBA (2 \pi f) \quad \text{نظراً لأن } (\sin 90^\circ = 1), \text{ ويمكن تعيين القوة}$$

الدافعة المستحثة للحظية بدلالة النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة بواسطة العلاقة :

$$emf = (emf)_{\max} \sin \theta$$

$$(9-3)$$

$$emf = (emf)_{\max} \sin 2 \pi f t$$

ونظراً لأن $\theta = \omega t = 2 \pi f t$

$$(10-3) \quad \text{فإن ،}$$



شكل (10-3) مولد التيار المتردد

ومن هذا الشكل نتبين أن التيسار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، وأن تغيره يمثل منحنى جيبى (شكل 10-3)، ومنه أيضاً يتضح مفهوم التردد f وخلال ذبذبة كاملة تزداد شدة التيار من الصفر إلى نهاية عظمى، ثم تتناقص إلى الصفر، ثم يعكس التيار الكهربي اتجاهه في الدائرة ويأخذ في الزيادة حتى يصل إلى نهاية عظمى، ثم يأخذ في التناقص حتى يصل إلى الصفر مرة أخرى. ويقال

عندئذ أن التيار قد أتم ذبذبة كاملة. ويكون الملف قد أتم بدوره دورة كاملة. وعدد الذبذبات في الثانية f هو التردد. ومن المعروف أن تردد التيار المنزلى يساوى 50 ذبذبة في الثانية.

ملف في مولد كهربي بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها 0.21 m^2 يدور الملف بتردد 50 دورة في الثانية في مجال مغناطيسي ثابت كثافة الفيض 0.3 Weber/m^2 ما النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة وما قيمتها عندما تكون الزاوية بين اتجاه السرعة وكثافة الفيض 30°

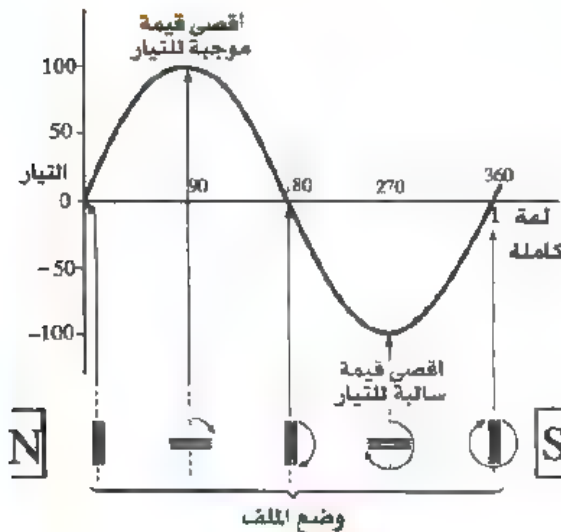
الحل :

$$(emf)_{\max} = NBA \omega = NBA (2 \pi f)$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6 \text{ V}$$

النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة المتولدة تساوى 6.6V

$$\text{emf} = (\text{emf})_{\max} \sin \theta = 6.6 \times \sin 30 = 6.6 \times \frac{1}{2} = 3.3 \text{ V}$$



شكل (١٠-١٠) وضع الملف

وينبغى أن تذكر أن التيار المستحث يتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة.

لهذا يكون التيار المستحث اللحظى هو ،

$$I = I_{\max} \sin (2 \pi f t)$$

وبلغ التيار المستحث نهايته العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وينعدم التيار المستحث عندما تنعدم القوة الدافعة المستحثة.

العلاقة البيانية لشدة التيار مع زاوية الدوران (المحس الحسى)

التيار المتوسط للتيار المستحث

ومما ينبغى الإشارة إليه أن القيمة المتوسطة لتيار متردد تساوى الصفر. إذ أن مقداره يتغير من (I_{\max}) إلى $(-I_{\max})$. ومع ذلك تستنفد الطاقة الكهربائية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنة الكهربائية. ويتناسب معدل الطاقة الكهربائية المستنفدة طردياً مع مربع شدة التيار. وأفضل طريقة لقياس الشدة المعالة للتيار المتردد هي إيجاد قيمة التيار الموحد الإتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى هي مقاومة معينة. أو الذى يولد نفس القدرة التى يولدها التيار المتردد.

هذه القيمة تسمى القيمة الفعالة للتيار I_{eff} وتساوى 0.707 من النهاية العظمى للتيار،

أى أن ،

$$I_{eff} = 0.707 I_{max} \quad (٣-١١)$$

وثمة علاقة مماثلة للقوة الدافعة الكهربية المعالة هي ،

$$(emf)_{eff} = 0.707 (emf)_{max} \quad (٣-١٢)$$

إذا كانت شدة التيار الفعالة في دائرة 10A و فرق الجهد الفعال هو 240 V فما هي النهاية العظمى لكل من التيار و فرق الجهد ؟
الحل :

$$I_{eff} = 0.707 I_{max}$$

$$10 = 0.707 I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14 \text{ A} \quad \text{ومنها}$$

$$V_{eff} = 0.707 V_{max}$$

$$240 = 0.707 V_{max}$$

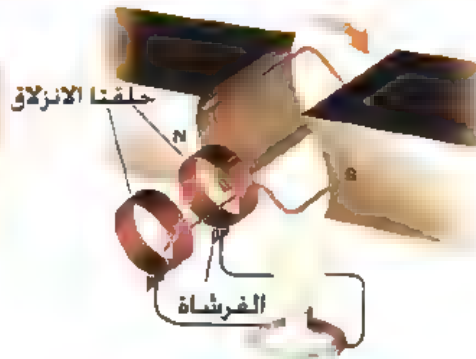
$$V_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ V}$$

تتطلب كثير من التطبيقات الكهربية استخدام تيار مستمر DC من مصدر تيار متردد AC، مثل تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهربي لركباتها باستخدام تيار موحد الاتجاه. كما نحتاج إلى تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر في شاحن التلفزيون المحمول. ويفتضى هذا تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (أي تيار في اتجاه واحد) فيما يعرف بعملية تقويم التيار Rectification. كذلك يمكن تحويل المولد المتردد إلى مولد مستمر DC Generator. ولهذا الغرض يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين بما يسمى «مقوم التيار» Commutator ويتركب مقوم التيار من أسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين 1، 2 معزولين تماماً عن بعضهما كما في الشكل (٣-١١). ويلامس نصفى الأسطوانة 1، 2 أثناء دورانها فرشأتان F_1 ، F_2 . ويراعى أن



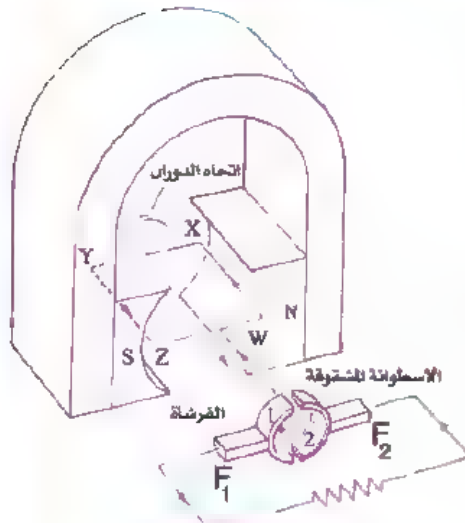
شكل (3-11أ)

ب- مولد لنار المستمر



شكل (3-11ب)

أ- مولد التيار المتردد



شكل (3-11ج)

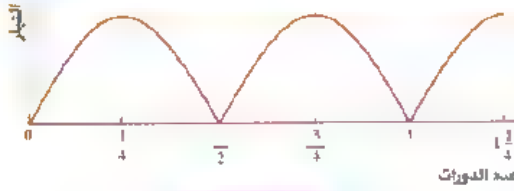
ب- استخدام الاسطوانة المشقوقه
يحدد اتجاه التيار

تلامس الفرشتان الشقيين العازلين في اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي، أي في اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف صفراً.

ولناخذ في الاعتبار أن الملف سيبدأ في الدوران في الاتجاه المبين بالشكل (3-11أ)، وفي خلال النصف الأول من الدورة ستكون الفرشاة F_1 تلامس لنصف الاسطوانة 1 والفرشاة F_2 تلامس لنصف الاسطوانة 2، وأن التيار الكهربائي سيمر في الملف في الاتجاه (WXYZ)، ويترتب على ذلك أن يمر التيار الكهربائي في الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 خلال النصف الأول من الدورة.

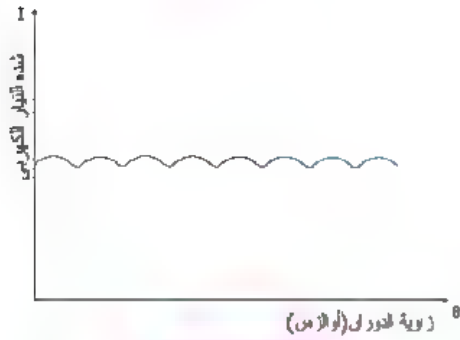
وفي النصف الثاني من الدورة يعكس التيار

الكهربائي اتجاهه في الملف بمعنى أن التيار الكهربائي يمر في الملف في الاتجاه (ZYXW). وفي نفس الوقت تصبح الفرشاة F_1 تلامس لنصف الاسطوانة 2. ويمر التيار في الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 ، وهو نفس اتجاهه في النصف الأول من الدورة. ومع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة والفرشاة F_2 سالبة. لذلك يكون التيار الكهربائي في الدائرة



شكل (٣-١١)

د- منحنى التيار مع زاوية الدوران (منحنى جيبي موحد الاتجاه)



شكل (٣-١٢)

التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريداً

الخارجية موحد الاتجاه دائماً، كما في الشكل (٣-١١). ويلاحظ هنا أن القوة الدافعة الكهربائية موحدة الاتجاه، لكن مقدارها يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى، ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف.

وللحصول على تيار كهربائي موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبا تستخدم عدة ملفات بينها زوايا صغيرة، وتستخدم أسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات، فتكون شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة الخارجية ثابتة القيمة تقريبا، وبهذه الكيفية يتم الحصول فعليا على مولد ثابت الشدة DC generator (شكل ٣-١٢).

الحول الكهربائي جهاز تعتمد فكرة عمله على الحث المتبادل بين ملفين ويستخدم لرفع الجهد أو خفضه. فالمحولات المستخدمة في محطات القوى تسمى محولات الجهد العالي وتكون محولات رافعة

Up-Converter . والمحولات

المستخدمة عند مناطق التوزيع

محولات خافضة Down-Converter .

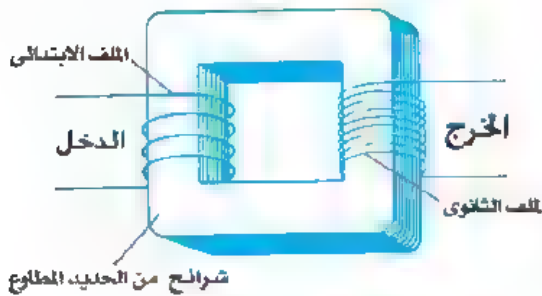
ويتركب المحول الكهربائي كما

في الشكل (٣-١٣) من ملفين

ابتدائي وثانوي. والملفان ملفوفان

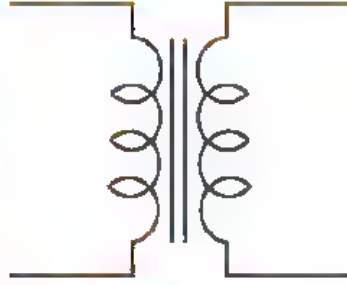
حول قلب من الحديد يكون من

شرائح رقيقة معزولة عن بعضها،



شكل (٣-١٣)

تركيب المحول الراجع



شكل (١٤-١٦)

رمز لحول

وذلك للحمد من التيارات الدوامىة. وللحد بالتالى من الطاقة الكهربية المفقودة.

عندما يمر تيار كهبرى فى الملف الابتدائى، فإن مجالاً مغناطىسىا يتولد عنه. أما القلب الحديدى فىعمل على تركىز خطوط فىض هذا المجال لتقطع الملف الثانوى.

الطاقة الكهربية المستحصلة من الحث الكهرومغناطىسى

عندما يوصل الملف الابتدائى بمصدر جهد متردد، يولد التغير فى المجال المغناطىسى قوة دافعة كهربية مستحصلة فى الملف الثانوى لها نفس التردد. وتعين القوة الدافعة الكهربية المستحصلة فى الملف الثانوى من العلاقة.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حبث N_s عدد لفات الملف الثانوى و $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ معدل خطوط الفىض المغناطىسى التى تقطعه. كذلك تتولد قوة دافعة كهربية فى ملف الابتدائى وترتبط ايضا بالمعدل الذى يتعبربه الفىض. تتزن هذه القوة الدافعة تقريبا مع القوة الدافعة الكهربية للمصدر الخارجى. وقد يستهلك جزء من الجهد داخل مقاومة السلك. وتعمل هذه القوة الدافعة المستحصلة. على تحديده قيمة التيار بحيث لا يزداد اكثر من اللازم فىحترق الملف الابتدائى. وتعين بالتالى من العلاقة ،

$$V_p = -N_p \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حبث N_p عدد لفات الملف الابتدائى.

وبفرض عدم وجود فقد فى الفىض المغناطىسى، بحيث يمر الفىض المغناطىسى الناتج

بأكمله فى الملف الثانوى، يمكننا بقسمة العلاقتين السابقتين الحصول على ما يلى،

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (3-13)$$

وتدلنا هذه العلاقة على كيفية ارتباط القوة الدافعة للملف الثانوى V_s بالقوة الدافعة للملف الابتدائى V_p .

فإذا كان N_s أكبر من N_p ، يكون لدينا محول رافع للجهد، حيث تكون القوة الدافعة الكهرلية للملف الثانوى أكبر من القوة الدافعة الكهرلية للملف الابتدائى. على سبيل المثال إذا كان عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى يكون V_s ضعف V_p . وإذا كان N_s أقل من N_p يكون لدينا محول خافض للجهد حيث تكون V_s أقل من V_p .

إذا فرضنا عدم وجود فقد فى الطاقة الكهرلية فى المحول، فإن قانون بقاء الطاقة يقتضى أن تكون الطاقة الكهرلية المستنفذة فى الملف الابتدائى مساوية للطاقة الكهرلية المتولدة فى الملف الثانوى أى أن،

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

ومنها تكون قدرة الدخل Input Power مساوية لقدرة الخرج Output Power. أى أن،

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad (3-14)$$

بالاستعانة بالعلاقين (11-11) و (12-11) نجد أن،

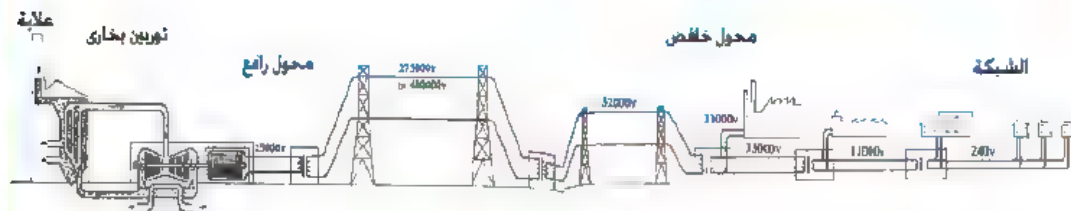
$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (3-15)$$

أى أن شدة التيار فى أى من الملفين تتناسب عكسياً مع عدد لفاته. فمثلاً عندما يكون عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى، فإن شدة تيار الملف الثانوى تساوى نصف شدة تيار الملف الابتدائى.

ومن هنا نتبين أهمية استخدام المحول الرافع للجهد عند محطة التوليد الكهرلية، حيث

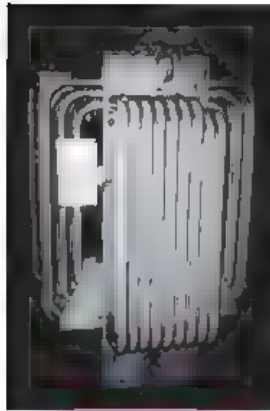
ىتم رفع الللل إلى قىمة عالىة، وقلل شدة اللىلار باللىلى إلى قىمة منللللة للءاً، لىقل معدل الللل فى القلرة الللى ىماوى I^2R ، الللى I شدة اللىلار الكرومطلسىة المار فى الأسلاك والللى مقاومىةها R . لللىك إذا امكنا لفلل اللىلار الكرومطلسىة فى أسلاك الللل بواسطة الملول الرفاع لللل إلى $\frac{1}{100}$ مثلاً من شدة لىلار الملف الللىللىلى له، فإن الطاقلة المفللولة لصل إلى $\frac{1}{10000}$ من الطاقلة المفللولة إذا ظل اللىلار الكرومطلسىة فى الملف الللىللىلى بنفلل شلته الأصلىة.

وعنل مناطق الللوزىع للىللىل ملوللل لافللة لللل. الللى لكون لرق الللل على الملف الللىللى 220 فولل. ولىل لللل الللىللىل للصلللىل اللللاءة ومعلللم الأللللة الكرومطلسىة الملىللىل فى المنازل.



شكل (٣-١٥) -

استللىل الملولل فى لقل الطاقلة الكرومطلسىة



شكل (٣-١٦) -

محول عمللق فى ملىللاب
اللصلل والللىل

للىللىل الملولل الكرومطلسىة للقل الطاقلة الكرومطلسىة Transmission من ملىللاب لولىللىل إلى اماكن استلىللامها على مساللاب للىللة عبر أسلاك معدنىة للىل لىللىل فى الطاقلة الكرومطلسىة، الللى للىللىل ملوللل رافلة لللل عنل ملىللاب الللىل Generation، وملوللل لافللة لللل عنل مناطق الللوزىع (شكل ٣-١٥)، الللى للىللىل الملولل اللللاقلة فى هلىل الملىللاب (شكل ٣-١٦). كما للىللىل الملولل الكرومطلسىة فى بعض الأللللة الملىللىل كالأللرلس والللالل إلى ألىل.

الكفاءة في المحولات

إذا لم يكن هناك فقد في الطاقة الكهربائية في المحول - بمعنى أن الطاقة الكهربائية المتولدة في الملف الثانوي تساوي الطاقة الكهربائية المستعمدة في الملف الابتدائي - تكون كفاءة المحول 100%. ومثل هذا المحول غير موجود في الحياة العملية، إذ يحدث فقد في الطاقة للأسباب الآتية :

١ - يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية في الأسلاك. ولإنقاص هذا الفقد يفضل استخدام أسلاك معدنية مقاومتها أقل ما يمكن.

٢ - يتحول جزء من الطاقة الكهربائية في القلب الحديدي إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية. وللحد من هذا الفقد يصنع القلب الحديدي من شرائح معزولة من الحديد المطاوع السليكوني لكبر مقاومته النوعية، وذلك للحد من التيارات الدوامية Eddy Currents.

٣ - يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ في تحريك جزيئات القلب الحديدي. وللحد من هذا الفقد، يستخدم الحديد المطاوع السليكوني لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.

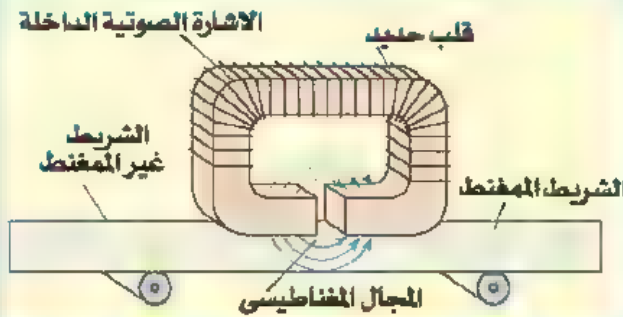
وبصفة عامة إذا كانت الطاقة المفقودة تمثل 10% من الطاقة الكهربائية الأصلية تكون كفاءة المحول 90%

وتعرف كفاءة المحول بنسبة الطاقة الكهربائية التي تحصل عليها من الملف الثانوي إلى الطاقة الكهربائية المعطاة للملف الابتدائي في نفس الزمن أي أن :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 \quad (١٦-٣)$$

معلومة إثرائية

التسجيل



ميكانيكا التسجيل

(استخدام الحث الكهرومغناطيسي في تسجيل الصوت)

يستخدم الحث الكهرومغناطيسي في جهاز التسجيل Recorder، حيث تتحول الإشارة الكهربائية إلى مجال مغناطيسي يعمد الشريط المغناطيسي في رأس التسجيل Record Head. وعند التشغيل تقوم رأس القراءة Play Head بقراءة ما تم تسجيله

وتحويلة إلى إشارة كهربائية (شكل ٢-١٧). ويحدث نفس الشيء في القرص الصلب Hard Disk في الكمبيوتر، حيث تخزن المعلومات بالمغطة. ولذلك لا تزول المعلومات التي في القرص الصلب إذا فصل مصدر التيار الكهربائي عن الكمبيوتر.

أمثلة:

- ١ - محول يعمل على مصدر تيار متردد قوته الدافعة الكهربائية 240V يعطى تياراً شدته 4A وقوته الدافعة الكهربائية 900V فما هي شدة تيار المصدر بفرض أن كفاءة المحول 100%؟

الحل:

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\therefore \frac{900}{240} = \frac{I_p}{4}$$

$$\therefore I_p = \frac{900 \times 4}{240} = 15 \text{ A}$$

- ٢ - جرس كهربائي مركب على محول كهربائي كفاءته 80% يعطى 8V إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية في المنزل 220V. فما عدد لفات الملف الثانوي، إذا كانت عدد لفات الملف الابتدائي 1100 لفة؟ وما هي شدة التيار في الملف الثانوي، إذا كانت شدة التيار في الملف الابتدائي 0.1A؟

الحل:

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100$$

$$\eta = \frac{V_s}{V_p} \times \frac{N_p}{N_s} \times 100$$

$$80 = \frac{8}{220} \times \frac{1100}{N_s} \times 100$$

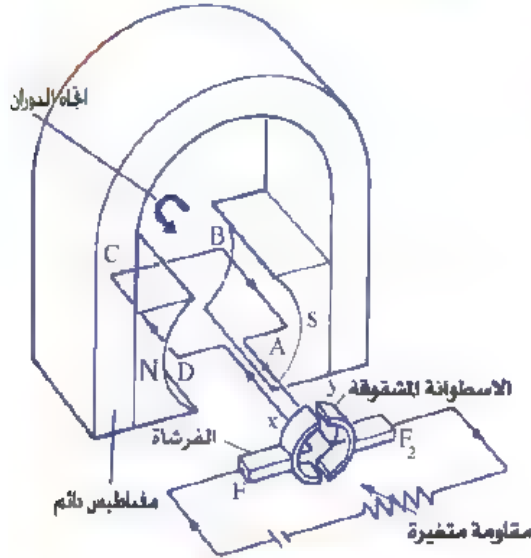
$$N_s = 50 \text{ turns (لفة)}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{I_s}{0.1} = \frac{1100}{50}$$

$$I_s = 2.2 \text{ A}$$

محرك التيار الكهربائي المستمر DC Motor



شكل ١٨-٢

عمل المحرك (الموتور) المستمر

هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ويعمل بمصدر كهربائي مستمر (مثل البطارية) (شكل ١٨-٢). ويتألف من ملف مستطيل (ABCD) يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوفة حول قلب من الحديد المطاوع مكون من أقراص رقيقة معزولة عن بعضها البعض من التيارات الدوامية.

والملف ومعه القلب الحديدي قابلان للدوران بين قطبي مغناطيس قوي على شكل حذاء الفرش. ويتصل طرفا الملف بنصفي

أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول Commutator وهما النصفان (x,y)، وهما معزولان عن بعضهما، وقابلان للدوران حول نفس محور دوران الملف. يكون المستوى الفاصل بين نصفي الأسطوانة متعامدا مع مستوى الملف والخط الواصل بين الفرشتين موازيا لخطوط المجال المغناطيسي وعند تشغيل المحرك الكهربائي توصل الفرشتان F_1 ، F_2 بقطبي بطارية.

المحرك والجلفانومتر

فكرة عمل المحرك الكهربائي هي نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذي الملف المتحرك. الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربائي يجب أن يدور باستمرار في نفس الاتجاه. فتصميم المحرك الكهربائي يقتضي أن يغير نصفا الأسطوانة المعدنية x,y موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 ، F_2 كل نصف دورة. ويترتب على هذا أن التيار الكهربائي المار في ملف المحرك الكهربائي يعكس اتجاهه في الملف كل نصف دورة.

شرح العمل خلال دورة كاملة للمحرك

نبدأ بوضع يكون فيه مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي وتكون فيه الفرشاة

F_1 المتصلة بالقطب الموجب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (x)، والفرشاة F_2 المتصلة بالقطب السالب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (y) كما في الشكل (٣-١٨). فيمر التيار الكهربى فى الملف فى الاتجاه (DCBA). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج نتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) يكون إتجاهها إلى اعلى، والقوة المؤثرة على السلك (CD) يكون إتجاهها إلى أسفل. وينشأ عن هاتين القوتين ازدواج Couple يعمل على دوران الملف فى الاتجاه المبين بالرسم (شكل ٣-١٨). ومع دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عمودياً على إتجاه خطوط الفيض. لكن الملف مدفوعاً بقصوره الذاتى Inertia يستمر فى دورانه. حتى يكون النصفان (x,y) قد تبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_2, F_1 حيث يصبح نصف الاسطوانة (x) ملامساً للفرشاة F_2 ، ونصف الاسطوانة (y) ملامساً للفرشاة F_1 ، فينعكس إتجاه التيار فى الملف، ويمر فى الاتجاه (ABCD). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج فى هذا الوضع الجديد، نتبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) تكون إلى أسفل، بينما القوة المؤثرة على السلك (CD) تكون إلى اعلى. ويعمل الازدواج الناشء من هاتين القوتين على استمرار دوران الملف فى نفس الإتجاه الدائرى السابق. ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ثم يقل عزم الازدواج حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض. وبالقصور الذاتى يستمر الملف فى حركته قليلاً، بما يسمح لنصفى الاسطوانة (x,y) أن يتبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1, F_2 . فينعكس التيار الكهربى مرة أخرى فى الملف. ويستمر الملف فى الدوران فى نفس الاتجاه، ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ويكون الملف قد أتم دورة كاملة. ويتكرر ما حدث، ويستمر الملف فى الدوران. وللاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى تستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية. ويتصل طرف كل ملف بقطعتين متقابلتين من اسطوانة معدنية مشقوقة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات. بحيث يلامس كل قطعتين متقابلتين من الاسطوانة المشقوقة أثناء دورانها الفرشتان F_2, F_1 فى وضع أقصى عزم ازدواج.

الفصل الخامس

التعارىف والمفاهىم الأساسىة :

- الحث لكهرومغناطىسى : هى ظاهرة تتولد فىها قوة دافعة كهربية مستحثة، كذللك تىار كهبرى مستحث فى الملف اثناء إدخال مغناطىس فىه او اخرجه منه.
- وجود الحديد المطاوع داخل الملف يعمل على تركىز خطوط الفىض المغناطىسى التى تقطع الملف، مما ىزىد القوة الدافعة لكهربىة المستحثة وكذللك التىار المستحث.
- قانون فارادى للقوة الدافعة المستحثة :
- تناسب القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف بالحث الكهرومغناطىسى تناسباً طردياً مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفىض، وكذللك مع عدد لفات الملف.
- قاعدة لىز ، يكون اتجاه التىار الكهبرى المتولد بالتأثير (المستحث)، بحيث ىضاد التغير فى الفىض المغناطىسى المسبب له .
- قاعدة الىد اليمنى لفلىمنج : إجعل الإبهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) من أصابع الىد اليمنى متعامدة على بعضها، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال، والابهام إلى اتجاه الحركة. عندئذ تشير الوسطى وباقى الأصابع إلى اتجاه التىار المستحث.
- الحث لمتبادل : هو التأثير الكهرومغناطىسى الحادث بىن ملفىن متجاورىن (أو متداخلىن)، احدهما ىمر به تىار كهبرى متغير الشدة، فىتأثر به الملف الثانوى، وىقاوم التغير الحادث فى الملف الأول الابتدائى .
- الحث الدائى ، هو التأثير الكهرومغناطىسى الحادث فى نفس الموصل اثناء تغير شدة التىار فىه زىادة أو نقص لمقاومة هذا التغير .
- معامل الحث الذاتى ، ىقدر عددياً بالقوة الدافعة الكهربىة المتولدة بالحث فى الملف عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التىار فىه 1 A/s
- وحدة قىاس معامل الحث الذاتى ، الهبرى هو الحث الدائى للملف الذى تتولد عنه قوة دافعة كهربية حثىة تساوى 1 V عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التىار فى الملف 1 A/s

$$I_H = \frac{1V.S}{A} = \frac{\text{فولت . ثانية}}{\text{امبير}}$$

- و حد هنرى - فولت . ثانية / امبير
- يتوقف معامل الحث الذاتى للملف على ،
 - (أ) شكله الهندسى
 - (ب) عدد لفاته
 - (ج) المسافة بين اللفات
 - (د) سماحية القلب المغناطيسى
- مولد التيار الكهرلى (الدينامو) ، جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية عندما يدور ملف فى مجال مغناطيسى. وهو يعطى تيارا مترددا.
- يتركب المولد الكهرلى البسيط من ،
 - (أ) المغناطيس الثابت (مغناطيس قوى)
 - (ب) ملف من سلك معق بين قطبى المغناطيس.
 - (ج) حلصى انزلاق ملامسين لفرشنى التيار المتردد، أو اسطوانة معدنية جوفاء مشموقة إلى عدد من الأجزاء المعزولة عن بعضها للحصول على تيار مستمر تقريبا.
- التيار المتردد ، تيار تغير شدته و اتجاهه بصورة دورية مع الزمن (منحنى الجيب).
- المحول الكهرلى ، جهاز لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهرلية المترددة عن طريق الحث المتبادل بين ملفين.
- كفاءة المحول ، هى النسبة بين الطاقة الكهرلية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهرلية المعطاه للملف الابتدائى.
- المحرك الكهرلى (المونور) ، جهاز لتحويل الطاقة الكهرلية الى طاقة ميكانيكية

القوانين الهامة :

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف عدد لفاته N نتيجة تغير في خطوط الفيض المغناطيسي $\Delta\Phi$ المقطوعة في زمن Δt يعطى بالعلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

لإشارة السالبة تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة . وبالتالي التيار المستحث . عكس التغير المسبب له.

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف ثانوى نتيجة تغير في خطوط الفيض المغناطيسي الناشئة عن الملف الابتدائي $\Delta\Phi$ والتي تقطع الملف الثانوى في زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث M معامل الحث المتبادل .

- القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى نتيجة التغير في شدة التيار المار في الملف بمقدار ΔI في زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث L معامل الحث الذاتى للملف

- القوة الدافعة المستحثة في سلك مستقيم طوله l يتحرك بسرعة ثابتة v يصنع اتجاهها زاوية θ مع اتجاه مجال مغناطيسى كثافة فيضه B يعطى من العلاقة.

$$emf = Blv \sin \theta$$

- القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة في ملف الدينامو تعطى من العلاقة :

$$emf = NBA \omega \sin \theta$$

حيث N عدد لفات الملف ، B كثافة الفيض المغناطيسى ، A مساحة وجه الملف ، θ هي الزاوية بين اتجاه السرعة v واتجاه كثافة الفيض المغناطيسى B .

$$\text{السرعة الزاوية} = 2\pi \times \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن بالثانية}}$$

وتكون نهاية عظمى عند $\theta = 90^\circ$ ، صفر عند $\theta = 0^\circ$

- العلاقة بين القيمة الفعالة لتيار I_{eff} ، النهاية العظمى له I_{max} هي :-

$$I_{eff} = 0.707 I_{max}$$

- قوانين المحول الكهربى

(ا) العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين ملفى المحول.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

(ب) العلاقة بين شدة التيار فى ملفى المحول ،

$$I_s / I_p = N_p / N_s$$

(ج) كفاءة المحول .

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100$$

p تعنى الابتدائى ، s تعنى الثانوى

اسئلة ومقارين

أولاً، ضع علامة (✓) أمام الاجابة الصحيحة :

١- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف بسرعة وذلك لأن :

(أ) عدد لفات الملف كبيرة (ب) يقطع الملف خطوط الفيض المغناطيسى

(ج) عدد لفات الملف قليلة (د) عدد لفات الملف مناسبة

٢- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبى عند اخراج المغناطيس من الملف فى اتجاه عكس اتجاه انحرافها عند ادخال المغناطيس فى الملف وذلك.

(أ) لتولد تيار مستحث تجاهه عكس اتجاه التيار عند ادخال المغناطيس

(ب) لتولد تيار كهربي (ج) لنقص عدد خطوط الفيض المغناطيسى

(د) لتغير عدد خطوط الفيض (هـ) لعدم تغير عدد خطوط الفيض

٣- تختلف القوة الدافعة الكهربية لمستحثة المتولدة فى الملف عند ادخال او اخراج مغناطيس منه نتيجة لاختلاف ،

(أ) شدة التيار طول سلك الملف عدد خطوط الفيض

(ب) قوة المغناطيس - سرعة حركة المغناطيس - عدد لفات الملف

(ج) مساحة مقطع الملف - كتلة وحدة الاطوال من الملف - نوع مادة السلك المصنوع منه الملف

(د) طول الملف - عدد اللفات - نوع المغناطيس

(هـ) كثافة الفيض - الزمن - شدة لتيار

٤- عند مرور تيار كهربي فى الملف لابتدائى ثم دخول ملف ثانوى فيه طرفاه متصلان بجلفانومتر يكون انحراف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه :

(أ) عكس التيار فى الملف الابتدائى (ب) يشير إلى صفر التدرج

(ج) متزايد (د) نفس اتجاه التيار فى الملف الابتدائى

(هـ) متغير

٥- عند قطع التيار المار بالملف الابتدائي، وهو بداخل الملف الثانوي يتولد :

- (أ) تيار مستحث طردى
(ب) مجال كهربي
(ج) تيار مستحث عكسي
(د) تيار متردد
(هـ) مجال مغناطيسي

٦- يرجع بطء التيار في الملف اللولبي أثناء مروره فيه إلى :

- (أ) تولد تيار تأثيري طردى
(ب) تولد مجال مغناطيسي
(ج) تولد ق.د.ك عكسية تقاوم فرق الجهد الأصلي
(د) تولد فيض مغناطيسي
(هـ) تولد مجال كهربي

٧- تصنع المفاومات من أسلاك ملفوفة لفا مزدوجة :

- (أ) لتقل مقاومة السلك
(ب) لتزيد مقاومة السلك
(ج) لتلافي الحث الذاتي
(د) لتتعدم مقاومة السلك
(هـ) لتسهيل عملية التوصيل

٨- يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربي المتولد في ملف الدينامو باستخدام :

- (أ) قاعدة فليمنج لليد اليسرى
(ب) قاعدة لنز
(ج) قاعدة فليمنج لليد اليمنى

٩- يكون معدل قطع الملف لخطوط الفيض المغناطيسي في الدينامو أكبر ما يمكن عندما يكون :

- (أ) مستوى الملف عموديا على خطوط الفيض.
(ب) مستوى الملف مائلا بزاوية 30°
(ج) مساحة الملف أقل ما يمكن
(د) مساحة الملف أكبر ما يمكن
(هـ) مستوى الملف مواز لخطوط الفيض

١٠ - تتناسب شدة التيار المار في ملفي المحول الكهربائي مع عدد لفات الملف تناسباً :

(أ) طردياً (ب) عكسياً

(ج) يتوقف على نوع مادة السلك (د) يتوقف على درجة حرارة السلك

(هـ) يتوقف على درجة حرارة الجو .

١١ - تزداد قدرة الموتور على الدوران باستخدام :

(أ) عدد أكبر من اللفات (ب) عدة ملفات بين مستوياتها زوايا متساوية

(ج) عدة مغناطيسات (د) سلك نحاس معزول

(هـ) مقوم التيار

١٢ - تسمى النسبة بين الطاقة الكهربائية في الملف الثانوي إلى الطاقة الكهربائية من الملف

الابتدائي :-

(أ) الطاقة المفقودة (ب) الطاقة المعطاة

(ج) كفاءة المحول (د) قوة تشغيل المحول

(هـ) الطاقة المكتسبة

ثانياً، عرف كلا مما يأتي :

- ١ - الحث الكهرومغناطيسي .
- ٢ - قانون فاراداي للقوة الدافعة المستحثة .
- ٣ - قاعدة لنز .
- ٤ - قاعدة هليمنج لليد اليمنى .
- ٥ - الحث المتبادل .
- ٦ - وحدة قياس الحث المتبادل .
- ٧ - الحث الذاتي .
- ٨ - معامل الحث الذاتي .
- ٩ - الهنري .
- ١٠ - ملف الحث .
- ١١ - التيار المتردد .
- ١٢ - الدينامو .
- ١٣ - الموتور .
- ١٤ - المحول الكهربائي .
- ١٥ - كفاءة المحول الكهربائي
- ١٦ - لقوة الدافعة العكسية في الموتور .

ثالثاً : أسئلة المقال :

- ١ - ما هي العوامل التي تتوقف عليها القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في موصل؟ أذكر العلاقة بين هذه العوامل والقوة الدافعة المستحثة.
- ٢ - أذكر قانون فاراداي للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة في ملف وكيف يمكن تحقيقه عملياً.
- ٣ - ما المقصود بالحث المتبادل بين ملفين؟ وما المقصود بمعامل الحث المتبادل؟ كيف يمكن باستخدام الحث المتبادل إثبات قاعدة لنز.
- ٤ - إذا امتزج تيار كهربائي في ملف - استنتج المعادلة التي تربط بين القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في هذا الملف ومعدل تغير التيار المار فيه. ومنها استنتج تعريفاً لكل من معامل الحث الذاتي والهمري.
- ٥ - متى تكون القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف أكبر ما يمكن ومتى تكون صفراً.
- ٦ - اشرح تحرية لتوضيح تحويل لطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وتجربة أخرى توضح حدوث العكس. ثم أذكر القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه التيار في الحالة الأولى واتجاه الحركة في الحالة الثانية.
- ٧ - استنتج علاقة يمكن بواسطتها تعيين القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في لحظة ما في مولد التيار المتردد.
- ٨ - ما هي التعديلات التي أدخلت على دينامو التيار المتردد للحصول على تيار مقوم.
- ٩ - صف تركيب المحول الكهربائي و اشرح نظرية عمله، ما معنى أن كفاءة المحول الكهربائي 80% ؟
- ١٠ - ماذا يقصد بكفاءة المحول الكهربائي؟ وما هي العوامل التي تنقص منها وكيفية التغلب عليها؟ وهل تصل كفاءة المحول إلى 100% أم لا ولماذا؟
- ١١ - صف مع الرسم تركيب الموتور موضحاً فكرة عمله.

رابعاً : علل لما يأتي

- (١) يصنع قلب المحول الكهربائي من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض.

- (ب) لا ينعبط ساق من الحديد المطاوع إذا لف حوله سلك معدني معزول ملفوف لما مزدوج يمر به تيار كهربى مستمر.
- (ج) يتحرك سلك يمر به تيار كهربى عندما يكون حر الحركة فى مجال مغناطيسى.
- (د) لا يصلح المحول الكهربى فى رفع او خفض قوة دافعة كهربية مستمرة.
- (هـ) سرعة دوران ملف الموتور منتظمة.
- (و) انعدام التيار المستحث فى السلك المستقيم أسرع منه فى ملف قلبه هوائى. وانعدام التيار فى الملف ذو القلب الهوائى أسرع منه فى ملف ملفوف حول قلب من الحديد.
- (ز) يتصل طرفا ملف الدينامو لتوليد تيار موحد الاتجاه بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى نصفين معزولين تماما عن بعضهما.

خامسا ، تمارين :

- ١- ملف عدد لفاته 80 لفة مساحة مقطعة 0.2 m^2 معلق عموديا على مجال منتظم. متوسط القوة الدافعة المستحثة 2V عندما يدور الملف $1/4$ دورة خلال 0.5s احسب كثافة الفيض المغنطيسى. (0.0625 Tesla)
- ٢- إذا كانت كثافة الفيض المغنطيسى بين قطبى مغناطيسى مولد كهربى هى 0.7Tesla وكان طول ملف الجهاز 0.4m لكى تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى هذا السلك تساوى واحد فولت احسب سرعة حركته. (3.57 m/sc)
- ٣- ملف دينامو يتكون من 800 لفة مساحة مقطعة 0.25m^2 يدور بمعدل 600 دورة كل دقيقة فى مجال كثافة فيضه 0.3Tesla احسب القوة الدافعة المستحثة عندما يصنع العمودى على الملف زاوية 30° مع الفيض المغنطيسى. (6.28V)
- ٤- ساق من النحاس طولها 30cm تتحرك عموديا على مجال مغنطيسى كثافة فيضه 0.8 Tesla بسرعة 0.5m/s احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذه الساق. (0.12V)

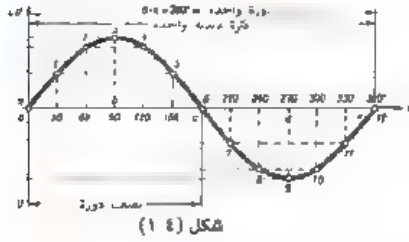
- ٥- هوائي سيارة طوله متر. تتحرك السيارة بسرعة 80 km/hr هي اتجاه متعامد على المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي للأرض. فتولدت قوة دافعة كهربية $4 \times 10^{-4} \text{ V}$ في الهوائي احسب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي للأرض. $(18 \times 10^{-6} \text{ Tesla})$
- ٦- احسب معامل الحث الذاتي لللف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار المار فيه بمعدل 40 A/S (0.25 H)
- ٧- الحث المتبادل بين ملفين متقابلين هو 0.1 H ، وكانت شدة التيار المار في أحد الملفين 4 A فإذا هبطت شدة التيار في ذلك الملف إلى الصفر في 0.01 s . احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في الملف الثاني. (40 V)
- ٨- ملف مستطيل أبعاده $0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ وعدد لفاته 100 لفة يدور بسرعة زاوية ثابتة 500 دورة في الدقيقة في مجال منتظم كثافة الفيض 0.1 T ومحور الدوران في مستوى الملف عمودي على المجال. احسب القوة الدافعة الكهربية العظمى المستحثة المتولدة في الملف. (41.89 V)
- ٩- محول خافض كفاءته 90% وجهد ملفه الابتدائي 200 V وجهد ملفه الثانوي 9 V فإذا كانت شدة التيار في الملف الابتدائي 0.5 A وعدد لفات الملف الثانوي 90 لفة، فما هي شدة التيار في الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي ؟ $(10 \text{ A}, 1800 \text{ لفة})$
- ١٠- محول خافض يعمل على مصدر قوته الدافعة الكهربية 2500 V يعطى ملفه الثانوي تيار شدته 80 A ، والنسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي 20 . وبفرض أن كفاءة هذا المحول 80% ، احسب القوة الدافعة الكهربية بين طرفي الملف الثانوي وشدة التيار المار في الملف الابتدائي . $(100 \text{ V}, 4 \text{ A})$

الفصل الرابع

دوائر التيار المتردد

درسنا في الفصل السابق الدينامو الذي يولد التيار الكهربائي المتردد

وهو التيار الذي تتغير شدته دورياً من الصفر إلى نهاية عظمى ثم تهبط إلى الصفر وذلك خلال نصف دورة ثم يعكس اتجاه التيار ونزداد شدته من الصفر إلى نهاية عظمى ثم تقل إلى الصفر وذلك في نصف الدورة الثاني ويتكرر التيار بنفس الكيفية كل دورة



ويمثل التيار المتردد بيانياً بمنحنى جيبى

كما هو موضح بالشكل رقم (٤) وذلك لأن شدة التيار

وكذلك القوة الدافعة الكهربائية متغيران، الشدة والاتجاه

تتبعان قانون الجيب للزاوية من الصفر إلى 360°

تردد التيار : هو عدد الذبذبات (الدورات الكاملة) التي يعملها التيار المتردد في ثانية الواحدة وهي نفس عدد دورات الملف في الثانية الواحدة

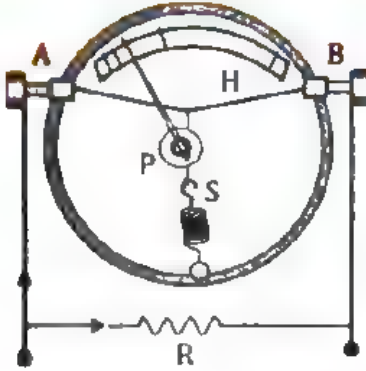
وتردد التيار المستخدم في مصر هو 50 Hz

مميزات التيار المتردد

- ١- يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة للتيار المتردد حسب الحاجة وذلك باستخدام المحولات الكهربائية
 - ٢- يمكن نقل الطاقة الكهربائية المترددة من مصادر التوليد إلى أماكن الاستهلاك عبر الأسلاك لمسافات بعيدة دون فقد كبير نسبياً وذلك باستخدام المحولات
 - ٣- التيار المتردد يصلح في بعض العمليات ولكنه لا يصلح في بعض العمليات الأخرى كالتحليل الكهربائي والطلاء بالكهرباء
 - ٤- يمكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر .
 - ٥- لكل من التيار المتردد والتيار المستمر تأثير حراري عند مرورهما في مقاومة أومية حيث أن التأثير الحراري لا يتوقف على اتجاه التيار
- قياس شدة التيار المتردد

الأميتر الحراري : Hot wire ammeter

لا يصلح الأميتر ذو الملف المتحرك لقياس شدة التيار المتردد لتغير شدته واتجاهه باستمرار حيث أن الأميتر العادي يعتمد فكرة عمله على ثبات شدة واتجاه المجال المغناطيسي ، لذلك يستخدم التأثير الحراري للتيار المتردد في قياس شدته ، والجهاز المستخدم لذلك يسمى الأميتر الحراري



التركيب والعمل :

يتركب الاميتر الحراري كما بالشكل من سلك رفيع

مشدود بين المسمارين A.B وهو مصنوع من سبيكة

الايريديوم والبلاتين حتى يسخن ويتمدد بمقدار محسوس عند مرور التيار الكهربائي فيه ومثبت عند منتصفه طرف خيط حرير يمر لفة واحدة حول بكرة (P) ويشد بواسطة زنبرك (S) مثبت في الجدار ومشدود دائما والبكرة عليها مؤشر يتحرك على تدريج غير منتظم لقياس شدة التيار .

يوصل بسلك الارديوم البلاتيني على التوازي مقاومة R تستخدم كمجزئ للتيار.

عمل الاميتر الحراري :

يدمج الاميتر الحراري على التوالي بالدائرة المراد قياس شدة التيار المار بها ، فعند مرور التيار في السلك يسخن ويتمدد ويرتخي فيشد خيط الحرير فتدور البكرة والمؤشر الذي يتحرك على التدريج ثم يثبت المؤشر عندما تثبت درجة حرارة سلك الايريديوم البلاتيني ويوقف تمدده ويحدث ذلك عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة فيه مع المفقودة منه ، ويدل التدريج الذي يثبت عنده طرف المؤشر على القيمة الفعالة للتيار المتردد .

ويدرج الاميتر الحراري بمفارنته بالاميتر ذو الملف المتحرك عندما يوصلان على التوالي ويمرر فيهما تيار مستمر ، مع ملاحظة أن تدريج الاميتر الحراري غير منتظم واقسامه ليست متساوية بل يزداد اتساعها كلما زادت شدة التيار لان كمية الحرارة المتولدة في السلك تتناسب طرديا مع I^2

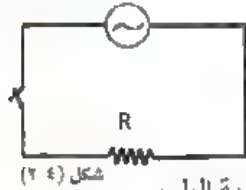
عيوب الاميتر الحراري :

- 1- يتحرك مؤشره ببطء حتى يثبت كما انه يعود إلى الصفر ببطء بعد قطع التيار عنه
- 2- يتأثر سلك الايريديوم البلاتيني بحرارة الجو ارتفاعا وانخفاضاً وذلك بسبب خطأ في دلالة الاميتر (خطأ صفري) وللتغلب على هذا العيب يشد السلك على لوحه من مادة لها نفس معامل تمدد السلك مع عزله عنها .

دوائر اللىار المتردد (AC)

(١) اللىار المتردد وفرق الجهد المتردد فى مقاومة أومية عدىمة اللى:

ىمئل الشكىل (١) دائرة لىار متردد تتكون من مصدر لللىار ومفتاح ومقاومة عدىمة اللى موصللة معا على التوالي .



عند غلق الدائرة يكون فرق الجهد على طرفى المقاومة

$$V = V_{\max} \sin \omega t \dots\dots(1)$$

فىل ءلقة اللحظىة لفرق الجهد ، V_{\max} القىمة العظمى له ، ωt زاوىة الطور.

ونقعىن شدة اللىار اللحظىة من العلاقة :

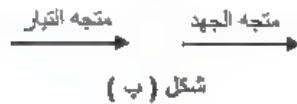
$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{V_{\max}}{R} \sin \omega t$$

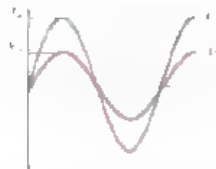
$$I = I_{\max} \sin \omega t \dots\dots(2)$$

وبمقارنة المعادلتىن (1) ، (2) نعد أن كل من V ، I فى مقاومة عدىمة اللى لهما نفس الطور ، لذلك ىنمو اللىار والجهد معا حتى ىصلا الى القىمة العظمى فى آن واحد ، وبعبارة أخرى ىكون فرق الجهد وشدة اللىار متفقان فى الطور .

وىمكن تمثىلها بىانىا كما بالشكىل (أ) أو تمئل بمتجهىن لهما نفس اللىاىاه كما بالشكىل (ب)



شكل (١)

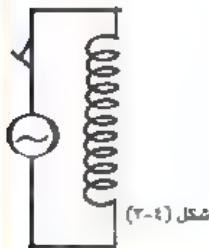


(٢) اللىار المتردد وفرق الجهد المتردد فى دائرة ملف لىل عدىم المقاومة :

ىمئل الشكىل رقم (٢-١) دائرة لىار متردد تتكون من

مصدر لللىار ومفتاح وملف لىل عدىم المقاومة

موصللة على التوالي.

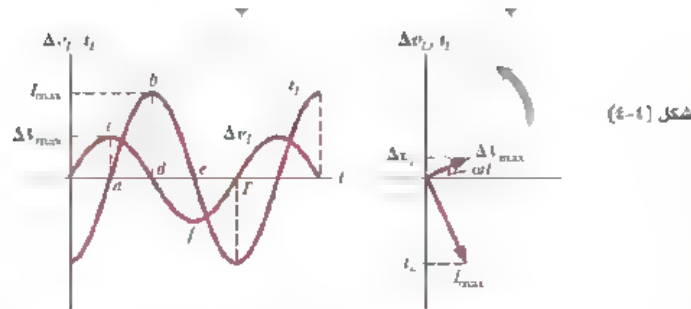


عند غلق الدائرة ىنمو اللىار تدريجىا من صفر الى نىاهىة عظمى بمعدل $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ وتولد باللىل لذاتى قوة

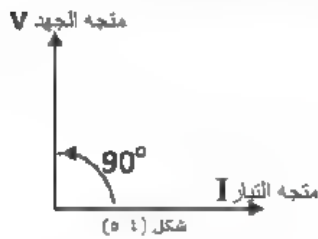
دافعة مستحثة عكسية مقدارها $L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ - تقاوم التغير الحادث في شدة التيار، ويكون ترددها مساو لتردد المصدر واتجاهها معاكس (مضاد) لاتجاه القوة الدافعة للمصدر.

$$V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وحيث أن I تتغير مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبي كما هو موضح بالشكل رقم (٤-١) فإن $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ تمثل ميل المعام للمنحنى ويكون نهاية عظمى عندما تكون شدة التيار (I) مساوية صفرا ويقل بالتدرج حتى يصل الى الصفر عندما تصل I الى نهاية عظمى، وعندما تقل شدة التيار ليصبح الميل $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ مقداراً سالباً، وهكذا ليصبح شكل المنحنى V كما هو موضح بالشكل رقم (٤-١).



ويتضح من الشكل أن V يكون متقدماً في الطور على التيار بزاوية 90° ويمثل كل من V و I بالمتجهات الموضحة بالشكل رقم (٤-٢)



تقدير المفاعلة الحثية: X_L

وقد وجد أن المفاعلة الحثية تتناسب طردياً مع كل من تردد التيار المنساب في الملف ومعامل الحث الذاتي له

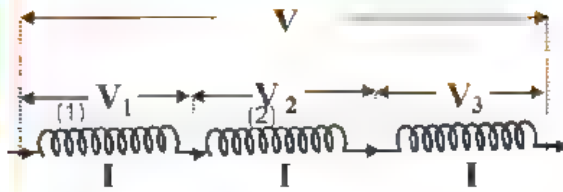
المفاعلة الحثية $X_L = 2\pi f L$ تردد التيار X معامل الحث الذاتي (بالهنري)

$$X_L = 2\pi f L \quad \text{أوم}$$

تعريف المفاعلة الحثية: هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في الملف بسبب حثه الذاتي

$$\text{شدة التيار } (I) = \frac{\text{القوة الدافعة الكهربائية}}{\text{المفاعلة الحثية}}$$

المفاعلة الحثية للتيار المتردد في عدد ملفات متصلة معا



أولاً :- إذا كانت الملفات تتصل معا على التوالي

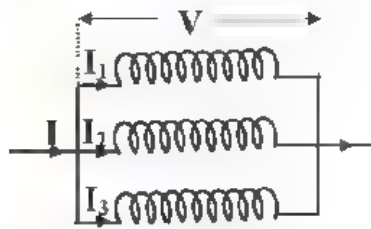
كما في المقاومات تكون

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

إذا كانت المفاعلات الحثية متساوية

$$X_L = n X_{L1}$$

ثانياً :- إذا كانت الملفات تتصل معا على التوازي



$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

وإذا كانت الملفات متساوية

$$X_L = \frac{X_{L1}}{n}$$

مثال : ملف حثه الذاتي 700 m H مهمل المقاومة وصل بمصدر متردد قوته الدافعة 200 فولت وتردده 50 HZ احسب شدة التيار المار في الملف

الحل

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.7 = 220 \Omega$$

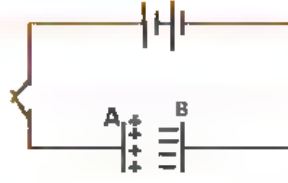
$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{220} = 0.9 \text{ A}$$

(٣) التيار المتردد وفرق الجهد المتردد في دائرة مكثف -

المكثف الكهربائي : عبارة عن لوحين معدنيين متوازيين بينهما عازل واحد شحن المكثف يكون احد لوحيه موجب الشحنة والاخر سالب الشحنة وبينهما فرق جهد (V) فإذا كانت الشحنة على احد لوحيه (Q) وسعة المكثف (C) فان العلاقة بينهم هي $C = \frac{Q}{V}$ ونقاس الشحنة بالكولوم وفرق الجهد بالفولت وتكون السعة بوحدة الفاراد .

المكثف مع المصدر المستمر :

عند توصيل مكثف بالبطارية حيث يتصل اللوح (A) بالقطب الموجب واللوح (B) بالقطب السالب للبطارية كما بالشكل فان شحنة سالبة تنتقل من القطب السالب إلى اللوح (B) ويقل جهده وينزول شحنة اللوح (B) السالبة على اللوح (A) فتجذب نحوها الشحنة الموجبة إلى السطح (A) القريب من (B) وتطرده شحنة سالبة إلى الوجه البعيد حيث تنتقل إلى القطب الموجب للبطارية ويرتفع جهد (A) وعندما يتساوى فرق الجهد بين اللوحين مع فرق الجهد بين قطبي البطارية يقف انتقال الشحنات ويتم شحن المكثف



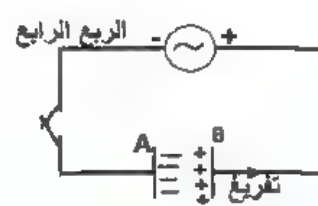
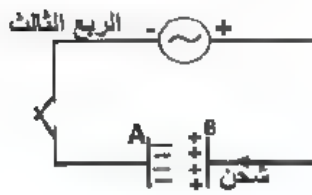
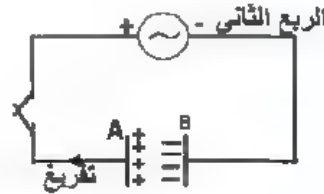
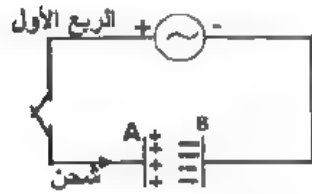
معنى ذلك يمر تيار لحظي في الدارة ثم يقف ويشحن المكثف ويكون

الشحنة = سعة المكثف \times فرق الجهد

المكثف مع مصدر متردد :

عند توصيل المكثف بمصدر تيار متردد فإن المكثف في نصف دوره الأولى يشحن أثناء ربع دورة حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه نهاية عظمى تساوى النهاية العظمى للقوة الدافعة للمصدر ثم يأخذ emf للمصدر في الهبوط ويكون جهد المكثف اعلى فيفرغ شحنته في المصدر حتى إذا وصلت emf للمصدر إلى الصفر يكون جهد المكثف وصل أيضا إلى الصفر يحدث ذلك في نصف دوره الأول وفي النصف دورة الثاني يشحن المكثف مرة أخرى ولكن بشحنات مضادة كما بالشكل رقم (١٠٤) حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى النهاية العظمى للقوة الدافعة للمصدر ثم يأخذ بعد ذلك في تبريق شحنته عند انخفاض emf للمصدر حتى يصبح كل منهما إلى الصفر في نهاية النصف دورة الثاني ويتكرر ذلك في الدورات الأخرى

يتضح من ذلك أن تيارا مترددا يمر في دائرة بها مصدر متردد ومكثف أى أن المكثف يسمح بمرور التيار المتردد في الدائرة ويتناسب شدة التيار المتردد المار في أية لحظة تناسب طرديا مع معدل التغير في شحنة المكثف أو فرق الجهد عليه حيث أن الشحنة وفرق الجهد على لوحى المكثف متغيرين معا في الطور كما بالشكل



شكل (١٠٤)

$$Q = CV \quad , \quad 1 = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

أى أن

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

وحيث أن V تتغير مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبى كما هو موضح بالشكل رقم (٤) (٧)

فإن $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ تمثل ميل المماس للمنحنى ' ويكون نهاية عظمى عندما تكون زاوية الطور مساوية صفر ويقل بالتدرج حتى يصل إلى الصفر عندما تصل V إلى نهاية عطى .

وعندما تقل V يصبح ميل المماس مقدارا سالباً وتصبح شدة التيار اللحظى مقدارا سالباً ' وهكذا

ليصبح شكل المنحنى I كما هو موضح بالشكل رقم (٤) (٧)

وتقدر المفاعلة السعوية X_C من العلاقة



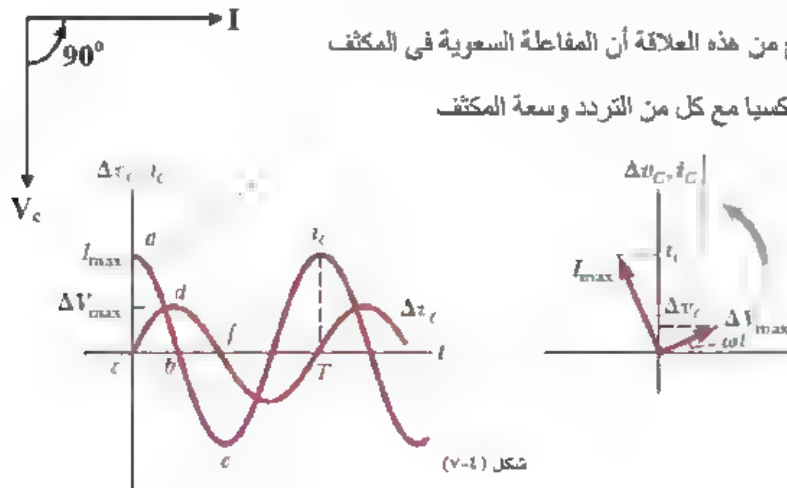
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Omega \quad \text{حيث } f \text{ تردد التيار .}$$

ويتضح من الشكل أن التيار يتقدم فى الطور على فرق الجهد بزاوية 90°

أى أن فرق الجهد بين طرفى المكثف يتخلف عن التيار بزاوية 90°

كما يتضح من هذه العلاقة أن المفاعلة السعوية فى المكثف

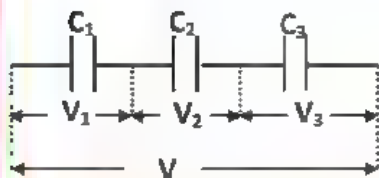
تناسب عكسياً مع كل من التردد وسعة المكثف



تعريف المفاعلة السعوية لمكثف : هي اممانعة التى يلقاها التيار المتردد فى المكثف بسبب سعته

توصيل المكثفات معا :

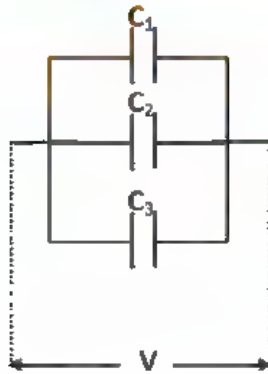
(أ) إذا وصلت المكثفات معا كما بالشكل على التوالى فإن المكثفات تشحن بشحنات متساوية Q



$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



إذا كانت المكثفات متساوية السعة و عددها n

$$C = \frac{C_1}{n}$$

(ب) إذا وصلت المكثفات معا على التوازي فان جهودها تكون متساوية

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$V.C = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

وإذا كانت المكثفات متساوية السعة و عددها n

$$C = n C_1$$

مثال : ثلاث مكثفات سعتها 20 , 80 , 40 ميكروفاراد وصلت معا على التوازي مع مصدر قوته الدافعة 100 فولت تردده 50 هرتز اوجد شدة التيار المار في الدائرة

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 20 + 80 + 40 = 140 \times 10^{-6} \text{ فاراد}$$

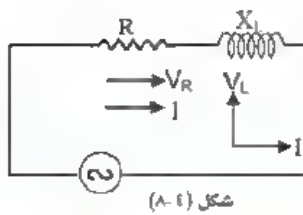
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1 \times 7 \times 10^6}{2 \times 22 \times 50 \times 140} = 22.72 \Omega$$

$$I = \frac{100}{22.72} = 4.4 \text{ A}$$

المعاوقة : Impedance

الدوائر الكهربائية التي تحتوي على ملف حث ومكثفات ومقاومات ومصدر للتيار المتردد فتوجد مفاعله للتيار المتردد بالإضافة إلى المقاومات الاومية ومقاومة الأسلاك ويطلق على المفاعلة و المقاومة معا اسم المعاوقة ويرمز لها بالرمز Z

دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة اومية وملف حث على التوالي :



شكل (٨-٤)

من المستحيل عمليا إنتاج ملف ذي حث فقط لان الملف

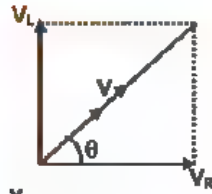
يملك قدرا معينا من المقاومة ويمكن أن نميز

المقاومة عن المفاعلة الحثية كما بالشكل رقم (٨١)

ولحساب فرق الجهد الكلي يستخدم المتجهات الطورية

و تيار واحد فيهم لأن المقاومة والملف موصلين على التوالي بينما فرق الجهد الكلي V لا يتفق في الطور مع شدة التيار

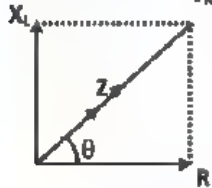
فالتيار والجهد في المقاومة في طور واحد ، بينما فرق الجهد في الملف يتقدم عن التيار بزاوية 90° في الطور لذلك يمكن تعيين فرق الجهد الكلي V من العلاقة :



$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

$$V_L = IX_L \text{ و } V_R = IR$$



$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{فان :}$$

مثال : تيار متردد قوته الدافعة 80 فولت وتردته 50 Hz يمر في ملف حثه الذاتي $\frac{21}{220}$ هنري ومقاومة 40Ω على التوالي احسب ١- المعاوقة الكلية ٢- فرق الجهد بين طرفي كل من المقاومة والملف وهل يمكن جمع الجهود جبريا
الحل

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{21}{220} = 30 \Omega$$

المفاعلة الحثية
المعاوقة

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} = 50 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80}{50} = 1.6 \text{ A}$$

$$V_R = 40 \times 1.6 = 64 \text{ V}$$

$$V_L = 30 \times 1.6 = 48 \text{ V}$$

$$V = 64 + 48 = 112 \text{ V}$$

المجموع الجبري لفرق الجهد

وهو اكبر من القوة الدافعة للمصدر. أما إذا جمعنا جمعاً اتجاهياً فإن :

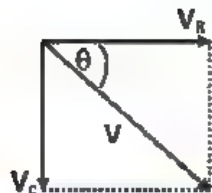
$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(64)^2 + (48)^2} = 80 \text{ V}$$

لذلك لا نجمع الجهود جبريا

دائرة تيار متردد بها مقاومة ومكثف على التوالي :

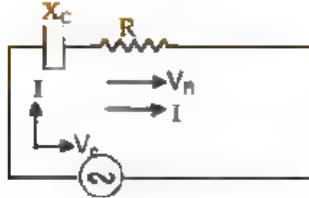
نجد أن التيار واحد فيهما لأن كلا من المكثف والمقاومة على التوالي

ولحساب فرق الجهد الكلي V نجد أن



التيار والجهد في المقاومة في طور واحد بينما فرق الجهد

في المكثف يتأخر بزاوية طور 90° عن التيار



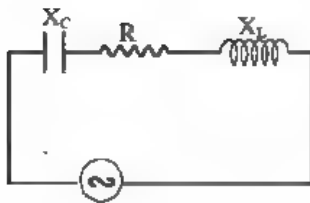
$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \rightarrow \tan \theta = \frac{-V_C}{V_R} = \frac{-X_C}{R}$$

وحيث أن $V_C = I X_C$ ، $V_R = I R$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{فان}$$

دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة وملف حث ومكثف جميعا على التوالي :

يكون التيار في المقاومة والملف والمكثف هو نفسه لاتصالهم على التوالي معا بينما فرق الجهد مختلف في كل منهم في الطور عن التيار

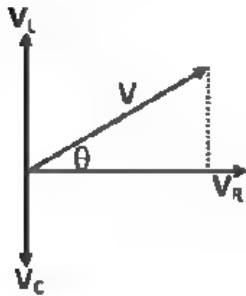


ففي المقاومة الجهد والتيار في طور واحد

وفي الملف يتقدم الجهد عن التيار بمقدار 90° فرق في الطور

وفي المكثف يتأخر فرق الجهد عن التيار بمقدار 90° فرق في الطور

وتكون المحصلة بالمتجهات



$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

بالقسمة على I

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

وبلاحظ أن :

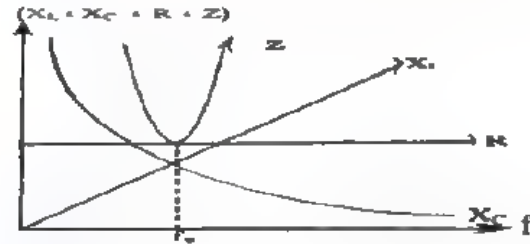
١- إذا كانت $X_L > X_C$ فيكون ظل زاوية الطور موجبة وتكون للدائرة خواص حثية. أي أن الجهد يسبق التيار بزاوية θ

٢- إذا كانت $X_C > X_L$ فيكون ظل زاوية الطور سالبة وتكون للدائرة خواص سعوية أي أن الجهد يتأخر عن التيار بزاوية θ

٣- إذا كانت $X_L = X_C$ فإن زاوية الطور = صفر وتكون للدائرة خواص مقاومة اومية أى أن الجهد والتيار في طور واحد

٤- في الملف والمكثف لا يستهلك في كل منهما قدرة كهربية لأنهما يخزانان الطاقة (القدرة) على شكل مجال مغناطيسي في الملف ومجال كهربائي في المكثف ثم يعيدها إلى المصدر الكهربائي عند التفريغ لذلك القدرة الحقيقية المستهلكة في الدائرة هي القدرة المستهلكة في المقاومة الأومية

العلاقة بين المعاملات والتردد



العلاقة بين التردد ومكافئ من $(X_L = X_C = R = Z)$

مثال : دائرة تيار متردد تحتوى على ملف ومقاومة ومكثف معا على التوالي فإذا كان فرق الجهد عبر الملف 80 فولت وعبر المقاومة 40 فولت وعبر المكثف 50 فولت وكان التيار في الدائرة 2 A

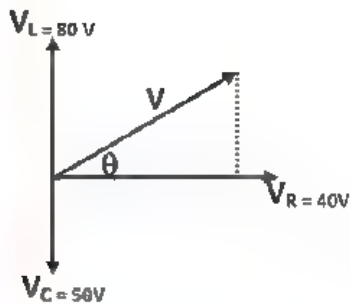
١- ارسم مخطط الجهد واحسب الجهد الكلى

٢- زاوية الطور وما خواص الدائرة

٣- القدرة الحقيقية على هيئة حرارة

٤- المعاوقة

الحل



$$V = \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2}$$

$$V = 50 \text{ V}$$

$$\tan \theta = \frac{80 - 50}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = 37^\circ$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2} = 20 \Omega$$

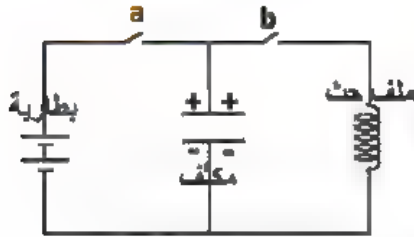
المقاومة

$$\text{القدرة} = 4 \times 20 = I^2 R = 80 \text{ وات}$$

$$Z = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

الدائرة المهتزة Oscillator circuit

"تبادل الطاقة المخزنة في الملف على هيئة مجال مغناطيسي وفي المكثف على هيئة مجال كهربائي"



الدائرة المهتزة تتركب من ملف حث له مقاومة صغيرة جدا

ومكثف يتصلان معا عن طريق مفتاح (b) كما بالشكل

عند غلق المفتاح (a) يمر تيار لحظيا ويشحن المكثف

اللوحة المتصل بالقطب الموجب يكون موجبا والمتصل

بالقطب السالب يكون سالبا ويتوقف التيار ويتولد مجال كهربائي بين لوحي المكثف تخزن الطاقة

على هيئة طاقة كهربائية ثم يفتح (a) يبقى المكثف مشحون

٢- عند فتح المفتاح (a) ثم غلق المفتاح (b) يفرغ المكثف شحنته عبر الملف ويمر تيار كهربائي لحظي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب فيقل فرق الجهد بين لوحي المكثف حتى ينعدم ويقلش المجال الكهربائي بينهما والتيار المار في الملف يولد مجال مغناطيسي يخزن الطاقة التي كانت في المجال الكهربائي

في البداية يكون معدل تغير التيار المار في الملف كبير لكون فرق الجهد بين اللوحين ثم يقل معدل تغير التيار وبسبب هذا التناقص في شدة التيار يتولد في الملف بالحث الذاتي تيار مستحث ذاتي طردي يسحب المزيد من الشحنة الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب وبذلك يشحن اللوح الذي كان سالبا بشحنة موجبة والآخر بشحنة سالبة عكس الشحنة عليهما قبل التفريغ ويتولد فرق جهد عكسي بين اللوحين يتولد مجال كهربائي بينهما ويقل التيار في الملف ويقل المجال المغناطيسي حتى ينعدم

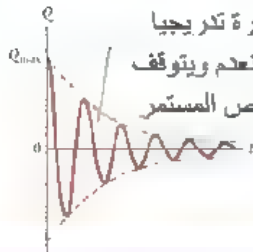
وتتحول الطاقة المخزنة على هيئة مجال مغناطيسي إلى المكثف تخزن ثانيا على هيئة طاقة كهربائية

وبعد ذلك يأخذ المكثف مرة أخرى في تفريغ شحنته عكس التفريغ الأول وهكذا يتكرر التفريغ والشحن وتحدث اهتزازات كهربائية سريعة جدا في الدائرة ويلاحظ تبادل الطاقة باستمرار بين المجالين



ونظرا لوجود مقاومة في الملف والأسلاك الأخرى فإن جزء من الطاقة يتحول إلى حرارة تدريجيا فيقل شدة التيار المتردد في الدائرة ويقل فرق الجهد بين لوحي المكثف تدريجيا إلى أن ينعدم ويتوقف الشحن والتفريغ وينعدم التيار ولكن إذا أمكن تغذية المكثف بشحنات إضافية تعوض النقص المستمر فيستمر عملية الشحن والتفريغ

وارسوم يمثل اضمحلال الشحنة على لوحي المكثف بمرور الوقت



حساب تردد التيار الكهربى فى الدائرة المهتزة

فى الدائرة المهتزة عند تساوى المفاعلة السعوية مع المفاعلة الحثية عند ذلك يكون التيار اكبر ما يمكن ويستنتج تردد الدائرة من العلاقة

$$X_L = X_C \quad \therefore 2\pi f.L = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \text{هرتز} \quad (\text{التردد})$$

$$L = \frac{\mu AN^2}{l} \quad \text{هنري} \quad \text{ويمكن التعويض عن معامل الحث } L \text{ بالعلاقة}$$

س : من العلاقة السابقة ما هى العوامل التى يتوقف عليها تردد التيار فى الدائرة المهتزة ؟
أمثله :

مثال ١ : اوجد تردد التيار فى دائرة مهتزة إذا كان معامل الحث الذاتى للملف $16 \mu H$ وسعة المكثف 4.9 مللي فاراد

الحل

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{7}{2 \times 22} \times \sqrt{\frac{10^6 \times 10^4}{16 \times 49}} = \frac{7}{44} \times \frac{10^5}{4 \times 7} = 568.18 \text{ Hz}$$

مثال ٢ : وصل ملف بمكثف سعته 18 ميكرو فاراد فى دائرة مهتزة فكان التردد $2 \times 10^4 \text{ Hz}$ وعندما وصل نفس الملف بمكثف آخر كان التردد $3 \times 10^4 \text{ Hz}$ احسب سعة المكثف الثانى

الحل

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$\frac{2 \times 10^4}{3 \times 10^4} = \sqrt{\frac{C_2}{18}}$$

$$\frac{4}{9} = \frac{C_2}{18}$$

$$C_2 = 8 \mu F$$

دائرة الرنين Tuning circuit

تتركب من مكثف متغير السعة وملف يمكن تغيير عدد لفاته

الغرض منها : تستخدم في أجهزة الاستقبال اللاسلكي وذلك لاختيار محطة الإذاعة المراد سماعها

توضيح عمل دائرة الرنين :



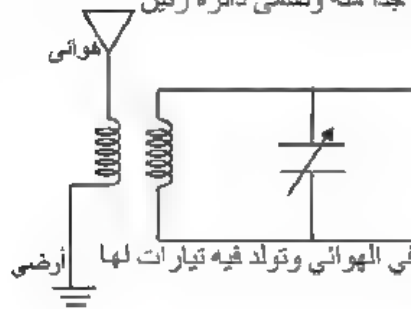
توصل دائرة كما بالشكل . مصدر تيار متردد يمكن

تغيير تردده ومكثف متغير السعة وملف حث وأميتر حراري .

يمر التيار ونغير تردد المصدر الكهربائي فإن شدة التيار تتغير حيث تقل شدة التيار إذا كان الاختلاف كبير بين تردد المصدر وتردد الدائرة وتزيد شدة التيار كلما اقترب تردد المصدر مع تردد الدائرة وتكون شدة التيار أكبر ما يمكن عندما يتفق تردد الدائرة مع تردد المصدر أي في هذه الحالة المفاعلة الحثية تساوي المفاعلة السعوية . ويمكن تغيير تردد المصدر أو تغيير سعة المكثف أو عدد لفات الملف حتى يتفق مع تردد المصدر

ويمكن تشبيه ما يحدث في دائرة الرنين بالرنين في الصوت فمثلاً عندما يتسوى تردد شوكتين رنانيتين مهترتين يقوى الصوت وعند اختلاف ترددهما يضعف الصوت

الاستنتاج من ذلك : إذ اثر في دائرة مهترزة مصادر كهربية مختلفة التردد في وقت واحد فإن الدائرة لا تسمح بالمرور إلا للتيار الذي يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريباً جداً منه وتسمى دائرة رنين



عمل دائرة الرنين في أجهزة الاستقبال أو اللاسلكي :

تتصل دائرة الرنين في جهاز الاستقبال اللاسلكي

بهوائي (أريال) جهاز الاستقبال حيث تصل إلى الهوائي

موجات محطات الإذاعة المختلفة لكل منها له تردد معين فإنها تؤثر في الهوائي وتولد فيه تيارات لها نفس تردد المحطات

ولكن دائرة الرنين في جهاز الاستقبال تسمح فقط بمرور التيار الذي يتفق تردده مع تردد الدائرة وعندما تريد الإستماع الى اذاعة معينة فإنك تغير من تردد الدائرة بتغيير سعة المكثف أو عدد لفات الملف فيمر التيار الذي يتفق تردده مع تردد الدائرة ثم يمر في جهاز الإستقبال ويخضع لعمليات معينه مثل التكبير والتقويم وفصل التيار المعبر عن الصوت الذي يمر في السماعة

* تلخيص *

- ١- التيار المتردد : هو التيار الذي تتغير شدته دورياً من الصفر إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر في نصف دورة ثم ينعكس اتجاهه وترداد شدته إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر في نصف دورة الثاني
- ٢- الأميتر الحراري : هو جهاز يستخدم لقياس التيار المتردد أو المستمر على أساس التمدد الذي تحدثه الحرارة التي يولدها التيار في سلك من الايريديوم البلاتيني
- ٣- المفاعلة الحثية لملف يمر به تيار متردد : هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في الملف بسبب حثه الذاتي

$$X_L = 2\pi f.L \quad \Omega$$

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

٤- المفاعلة الكلية لملفات على التوالي

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

٥- المفاعلة الكلية لملفات على التوازي

٦- المفاعلة السعوية للمكثف : هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في مكثف بسبب سعته

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

٧- السعة الكلية لمكثفات متصلة على التوالي

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

٨- السعة الكلية لمكثفات متصلة على التوازي

٩- المعاوقة : هي مكافئ المفاعلة والمقاومة معا في دائرة ولحده

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L.C}}$$

١٠- تردد دائرة الرنين المهتزة

" أمثلة وتمارين "

س١ : ماذا يقصد بكل من الآتي

المفاعلة الحثية - المفاعلة السعوية - المعاوقة - دائرة مهتزة

س٢ : اذكر العوامل التي يتوقف عليها كل من :-

١- المفاعلة الحثية ٢- المفاعلة السعوية ٣- تردد الدائرة المهتزة ٤- المعاوقة

س ٣ : كيف نحسب السعة الكلية لعدة مكثفات متصلة معا

أ- على التوالي ب- على التوازي

س ٤ : مما تتركب الدائرة المهتزة مع شرح عملها

س ٥ : مما تتركب دائرة الرنين مع شرح عملها في جهاز الاستقبال اللاسلكي

س ٦ : مكثفان سعتهما 24 , 48 ميكرو فاراد اوجد السعة الكلية لهما

أ إذا وصلا على التوالي ب إذا وصلا على التوازي

س ٧ : تيار متردد يمر في مقاومة 12 اوم وملف حث حثه الذاتي $\frac{7}{440}$ هنري اوجد المعاوقة

علما بأن تردده = 50 هيرتز (13 Ω)

س ٨ : ملف حثه الذاتي $\frac{7}{275}$ هنري ومقاومته 6 Ω احسب شدة التيار المار في الملف إذا وصل :

أ- بمصدر تيار مستمر قوته الدافعة 6 فولت مهمل المقاومة الداخلية

ب- بمصدر تيار متردد تردده 50 هرتز وقوته الدافعة 6 فولت

(0.6 A , 1 A)

س ٩ : ثلاث مكثفات السعة الكهربائية لكل منهما 14 ميكرو فاراد وصلت على التوازي معا ومع مصدر تردده 50 هرتز احسب المفاعلة السعوية الكلية

س ١٠ : مقاومة 6 اوم ومكثف مفاعلته السعوية 80 Ω وملف حث الذاتي 0.28 هنري متصلة معا على التوالي بمصدر جهد متردد 20 فولت وتردده 50 هرتز احسب

أ- فرق الجهد بين طرفي المكثف ب- زاوية الطور بين الجهد الكلي والتيار المار في الدائرة

ج- القيمة العظمى لشدة

(160 V , 53° , 2.8 A)

س ١١ : تتكون دائرة رنين في جهاز الاستقبال من ملف حث 10 مللي هنري ومكثف متغير السعة ومقاومة مقدارها 50 Ω وعندما تصطمم بها موجات لاسلكية ذات تردد 980 كيلو هرتز يتولد عبر الدائرة فرق جهد 10^{-4} فولت اوجد قيمة السعة اللازمة في حالة الرنين وشدة التيار في هذه الحالة

(2.635×10^{12} F , 2×10^6 A)

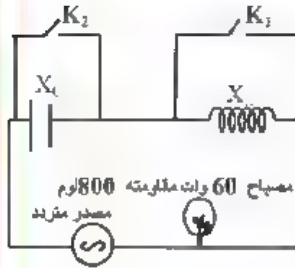
س ١٢ : دائرة كهربائية مكونة من ملف مفاعله الحثية 250Ω متصل على التوالي بمقاومة قيمتها 100Ω ومكثف متغير السعة ومصدر للتيار المتردد قوته الدافعة كهربائية 200 فولت وتردده $\frac{1000}{44}$ هرتز. فوصلت شدة التيار المار في الدائرة إلى أكبر قيمة لها اوجد .

أ- سعة المكثف التي جعلت شدة التيار أكبر قيمة

ب- فرق الجهد بين طرفي الملف والمكثف في هذه الحالة

(500 V , فاراد 28×10^{-6})

س ١٣ : في الدائرة الموضحة بالشكل بها مصدر متردد (50 هرتز) وقوته الدافعة 220 فولت ومكثف سعته 4 ميكروفاراد وملف حثه 2.53 هنري احسب .



١- المفاعلة السعوية


٢- المفاعلة الحثية

٣- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_1 فقط وما هي المعاوقة ؟

٤- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_2 فقط وما هي المعاوقة ؟

٥- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_1 ، K_2 وما هي المعاوقة ؟

(795.4Ω , 795.4Ω , 1128Ω , 800Ω)



الوحدة الثانية

مقدمة في الفيزياء الحديثة

- الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم.
- الفصل السادس : الأطياف الذرية.
- الفصل السابع : الليزر.
- الفصل الثامن : الإلكترونيات الحديثة.

مقدمة في الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم

الوحدة الثانية

مقدمة في الفيزياء الحديثة

الفصل الخامس

ازدواجية الموجة والجسيم

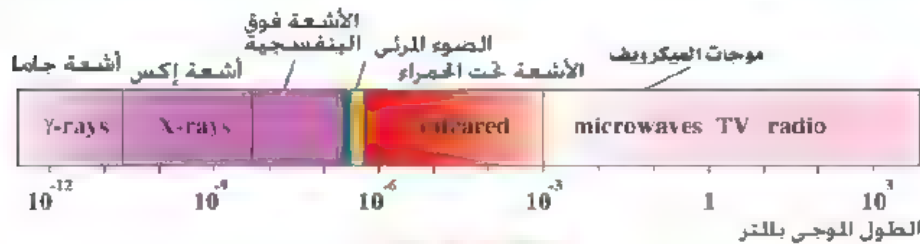
مقدمة:

يندرج كل ما درسنه حتى الآن تحت ما يسمى "الفيزياء الكلاسيكية"، ليس معنى هذا أنها فيزياء غير مستعملة، بل إنها تفسر مشاهداتنا اليومية وتجاربنا المعتادة. أما الوحدة الحالية فهي تتضمن بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الحديثة التي تعتبر مدخلا مهما لفيزياء الكم Quantum Physics. ويتعامل هذا الفرع من الفيزياء مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التي قد لا نراها في حياتنا اليومية بصورة مباشرة، ولكنها تتناول العديد من آثار هذا الكون والتي لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها وخاصة عندما نتعامل على المستوى الذري أو دون الذري Subatomic Scale.

كما يفسر هذا الفرع من الفيزياء كل الظواهر الإلكترونية، والتي هي أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة. كما يفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزيء والتي تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل الكيمياء عام ١٩٩٩ •

إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

استقر فهمنا حتى الآن عن الضوء على أنه موجات. ومن خصائص الموجات أنها تنعكس وتتكسر وتعاني التداخل والحيود. وفهمنا أيضا أن الضوء المرئي هو جزء محدود

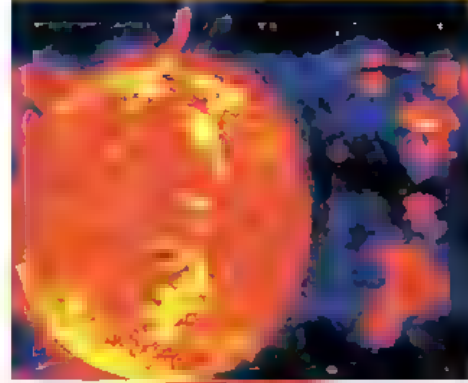


(شكل ١.١)



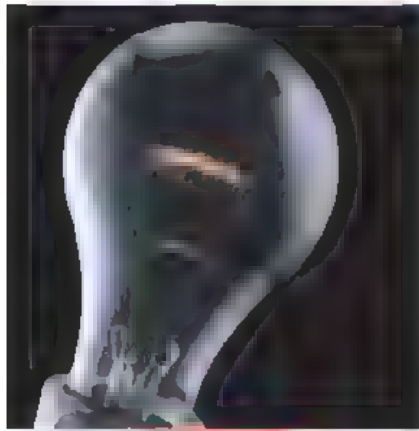
شكل (١-٥)

قطعة فحم مفعلة تشع اشعاعا كهرومغناطيسيا



شكل (٢-٥)

الشمس مصدر للإشعاع الكهرومغناطيسي



شكل (٣-٥)

المصباح اقل توهجا



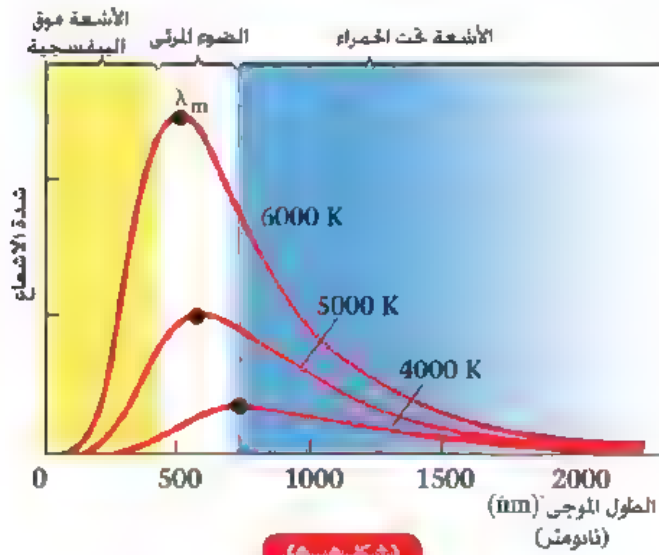
شكل (٤-٥)

المصباح متوهج

المصباح الكهربى يشع اشعاعا كهرومغناطيسيا

من الطيف الكهرومغناطيسى (شكل ٥-١) . تختلف هذه الموجات الكهرومغناطيسية فى ترددتها وطولها الموجى، ولكنها تنتشر بسرعة ثابتة فى الفراغ هى $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، ولا تحتاج الموجات إلى وسط لانتشارها. ونلاحظ جميعاً أن الأجسام الساخنة تشع ضوءاً وحرارة. ومن أمثلة هذه الأجسام الشمس (شكل ٥-٢)، وسائر النجوم، وكذلك قطعة الفحم المتقدة (شكل ٥-٣)، وفتيلة المصباح الكهربى (شكل ٥-٤). ونلاحظ أيضاً أن اللون الغالب على الضوء الصادر من كل هذه المصادر وغيرها متغير. أى أن المصدر المشع لا يشع كل

الأطوال الموجية بنفس القدر بل تختلف شدة الإشعاع مع الطول الموجي. ويسمى بمنحنى شدة الإشعاع مع الطول الموجي بمنحنى بلانك Planck's Distribution (شكل ٥-٥). ووجد أيضاً أن الطول الموجي الذي تصاحبه أقصى شدة إشعاع λ_m يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة. يعرف هذا بقانون فين Wien's Law. أي أنه كلما زادت درجة الحرارة كان الطول الموجي الذي عنده قمة عظمت أقصر. ويلاحظ أنه إذا زاد الطول الموجي جداً أو قصر جداً فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر. وهكذا فإن درجة حرارة الشمس مثلاً هي 6000 K عند السطح. وهذا يجعل شدة الإشعاع العظمى تقع عند 5000 Å (0.5 micron)، أي في نطاق الطيف المرئي. ولذلك فإن حوالي 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس تتكون من ضوء مرئي و 50% تقريباً إشعاع حراري Infrared Radiation،



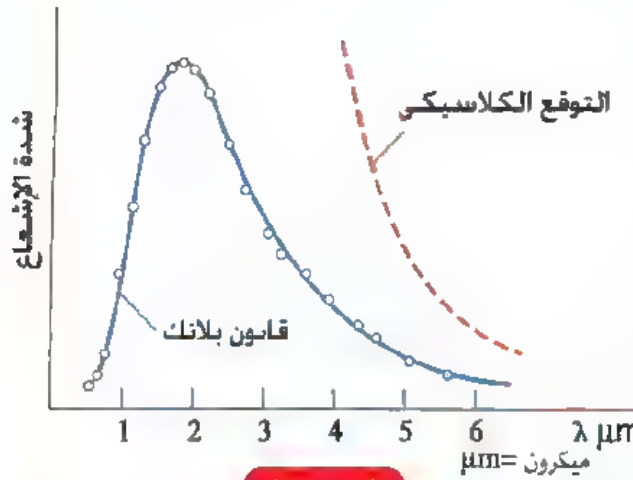
(شكل ٥-٥)

يتناسب الطول الموجي لقمة المنحنى عكسياً مع درجة الحرارة

أما باقي الإشعاع فيقع في باقي مناطق الطيف. ويمكن الحصول على نفس هذا الشكل من الإشعاع الذي نحصل عليه في المصباح الكهربائي المتوهج، (درجة الحرارة 3000 K)، ولا نحصل إلا على حوالي 20% ضوء، والباقي في صورة حرارة، إذ يكون الطول الموجي عند قمة

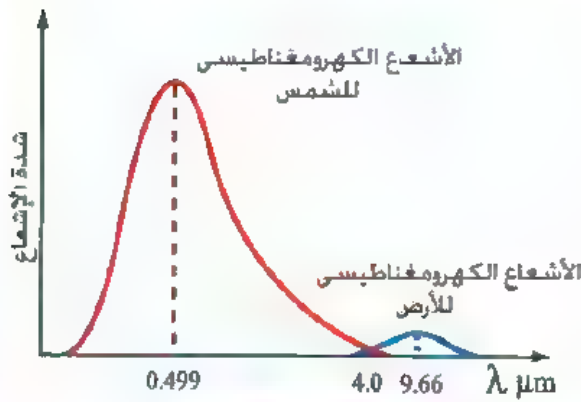
المنحنى حوالي $1000 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ m} = 10000 \text{ Å} = 1 \text{ micron}$ (شكل ٥-٥). لا يمكن تفسير هذه المشاهدات باستخدام الفيزياء الكلاسيكية. فمن المعروف من الفيزياء الكلاسيكية أنه بما أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية فإن شدة الإشعاع تزداد كلما زاد التردد، فلماذا إذاً تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية (شكل ٥-٦)؟ استطاع العالم بلانك Planck في عام 1900 أن يضع تفسيراً لهذه الظاهرة. ووجد أن هذا المنحنى يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفاً متصلاً من الإشعاع وليس فقط الشمس، بل الأرض

أيضاً بل والكائنات الحية. ولكن الأرض - باعتبارها جسماً غير متوهج - فإنها تمتص إشعاع الشمس، ثم تشعه مرة أخرى. ولكن لأن درجة حرارتها منخفضة كثيراً بالنسبة للشمس، فإننا نجد الطول الموجي عند قمة المنحنى حوالي 10 micron وهو في نطاق الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation (شكل ٥-٧). هناك أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة



شكل ٥-٧

الإشعاع يقل مع زيادة التردد عكس توقعات الفيزياء الكلاسيكية



شكل ٥-٨

مقارنة بين إشعاع الأرض وإشعاع الشمس

Thermal Imaging في الطب وخاصة في مجال الأورام Tomography (شكل ٥-١١)، والأجنة Embryology، كذلك في مجال اكتشاف الأدلة الجنائية Criminology، حيث

جوا وأجهزة أرضية تصور سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة ومن بينها الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض بالإضافة إلى الضوء في المجال المرئي (شكل ٥-٨)، وكذلك باستخدام موجات الميكروويف Microwaves والتي تستخدم في الرادار.

يقوم العلماء بتحليل هذه الصور لتحديد مصادر الثروة الطبيعية Earth Resources، كما تستخدم في التطبيقات العسكرية، مثل أجهزة الرؤية الليلية Night Vision لرؤية الأجسام المتحركة في الظلام واضحة بفعل ما تشعه من إشعاع حراري (شكل ٥-٩، ٥-١٠). كما يستخدم التصوير الحراري



شكل ٥-١٢

صورة حبوب سيناء بالقمر الصناعى لاند مات

يبقى الإشعاع الحرارى لشخص فترة بعد انصراف الشخص. وتسمى هذه التقنية الاستشعار عن البعد Remote Sensing. وتعتبر مصر من الدول الرائدة فى هذا المجال.

وسمى بلانك هذه الظاهرة إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation. اما سبب هذه التسمية فلأن الجسم الأسود هو الذى يمتص كل ما يسقط عليه من اشعة ذات أطوال موجية مختلفة. فهو معتص مثالى Perfect Absorber، ثم يعيد إشعاعه بصورة مثالية، أى يكون باعثا مثاليا Perfect Emitter ايضا.

فإذا تصورنا تجويفا Cavity مغلقا به ثقب صغير، فإن ما بداخل هذا التجويف يبدو اسود ، لأن الإشعاع يظل فى معظمه محصورا بداخله من كثرة الانعكاسات، ولا يخرج إلا جزء يسير منه، وهو ما يسمى إشعاع الجسم الأسود (شكل ٥-١٢ أ، ب). استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض غريب على عصره، هو أن هذا الإشعاع يتألف من وحدات صغيرة أو دقات من الطاقة يسمى كل منها



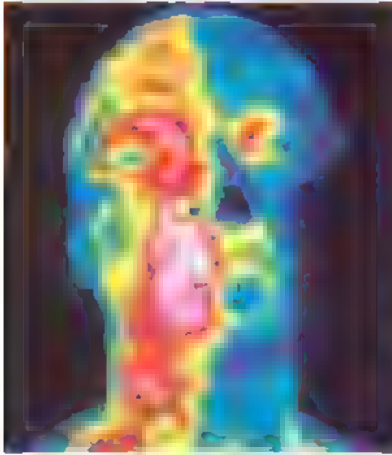
شكل ٥-١٣

صورة ملتقطة بجهاز الرؤية الليلية



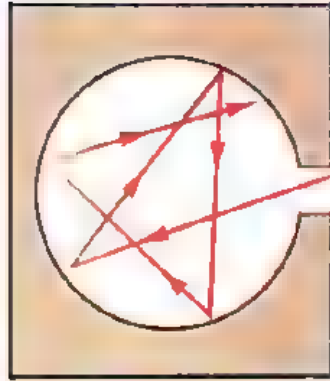
شكل ٥-١٤

١-جهاز الرؤية الليلية



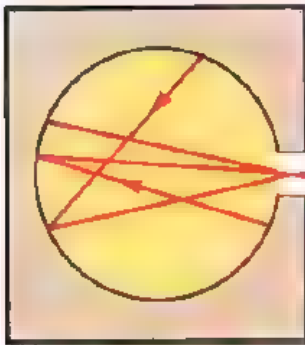
(شكل ٥-١٣)

صورة حرارية للوجه والرقبة



(شكل ٥-١٤)

ما يسقط داخل التجويف لا يخرج فيبدو أسود



(شكل ٥-١٥)

ما يخرج من التجويف خلال لنفق جزء يسير يسمى اشعاع الجسم الأسود

الكوانتم (الكم) Quantum أو فوتون Photon. وعلى ذلك فإن الإشعاع الصادر من الجسم المتوهج هو فيض هائل من هذه الفوتونات الصادرة من الجسم المتوهج، تزداد طاقتها كلما زاد ترددها، ولكن عددها يتناقص كلما زادت هذه الطاقة. وهذه الفوتونات تصدر عن تذبذب الذرات. وطاقة هذه الذرات المتذبذبة ليست متصلة وإنما كمّاة Quantized، أو غير متصلة Discontinuous، أي منفصلة Discrete. وتأخذ مستويات الطاقة قيما $E = nh\nu$ حيث h هو ثابت بلانك $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ، و ν هو التردد

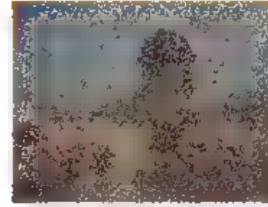
Frequency (Hertz-Hz). ولا تشع الذرة طالما بقيت في مستوى واحد. ولكن كلما انتقلت الذرة المتذبذبة من مستوى طاقة عال إلى مستوى طاقة أقل فإنها تصدر فوتونا طاقته $E = h\nu$. وبذلك توجد فوتونات ذات طاقة عالية إذا كانت ν كبيرة، وفوتونات ذات طاقة منخفضة إذا كانت ν صغيرة. وحيث أن الإشعاع يتألف من بلايين من هذه الفوتونات، فنحن لا نلاحظ هذه الفوتونات منفصلة، ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل. وهذه الخواص التي تعبر عن فيض الفوتونات هي الخواص الكلاسيكية للموجات. ويوضح شكل (٥-١٣) صورة ملتقطة بكمية إضاءة تزداد تدريجيا أي يزداد عدد الفوتونات بكل لقطة، علما بأن العين قادرة على الإحساس حتى بفوتون واحد ساقط عليها.



(ج)



(ب)



(أ)



(و)



(هـ)



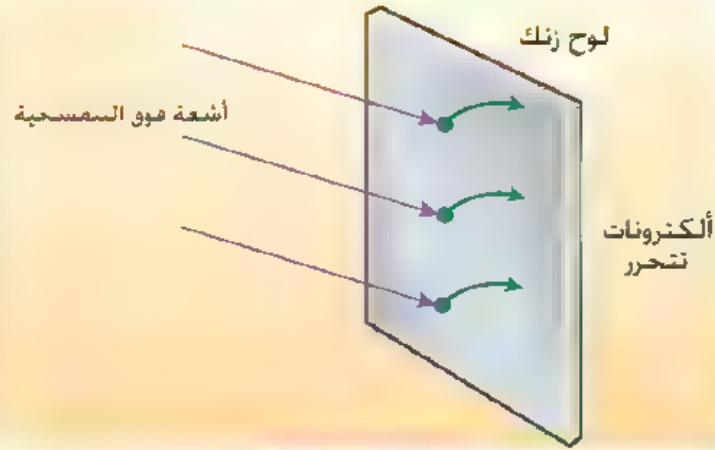
(د)

(شكل ٥-١٠)

صورة يتغير في كل لقطة منها عدد الموتونات الساكنة
حيث يزداد من ١ إلى ٥

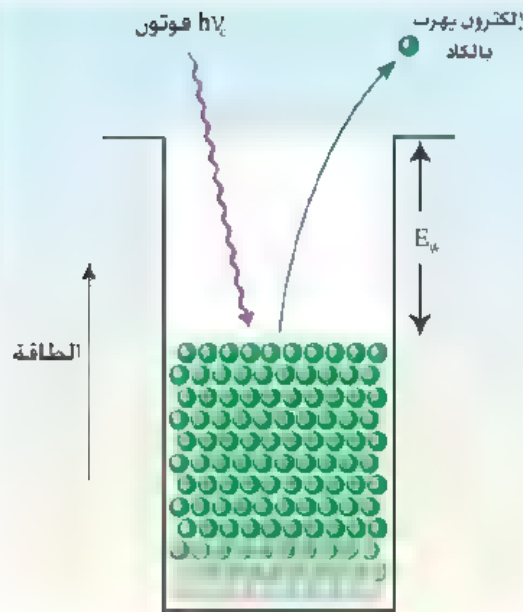
التأثير الكهروضوئي والانبعاش الحراري

يحتوي المعدن على أيونات موجبة والإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخل المعدن، ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التي تجذبها دائماً للداخل، وهو ما يسمى حاجز جهد السطح Surface Potential Barrier. ولكن يمكن لبعض هذه الإلكترونات أن تخرج إذا أعطيناها طاقة حرارية أو ضوئية مثلاً (شكل ٥-١٤). وهي فكرة أنبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube (CRT) وهي التي تستخدم في شاشة التلفزيون والكمبيوتر (شكل ٥-١٥)، حيث تتكون هذه الأنبوبة من سطح معدني يسمى المهبط أو الكاثود Cathode، يتم تسخينه بواسطة فتيلة التسخين Filament. فتنتقل بعض الإلكترونات من المدفع الإلكتروني E-Gun بفعل الحرارة، متغلبة على قوى الجذب عند السطح، حيث تلتقطها الشاشة المتصلة بقطب موجب يسمى المصعد أو الأنود Anode، مما يسبب تياراً في الدائرة الخارجية. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة فإنها تصدر ضوءاً تختلف شدته من نقطة لأخرى، حسب شدة الإشارة الكهربائية المرسلة التي تتحكم في شدة تيار الإلكترونات بواسطة شبكة خاصة Grid تعترض طريق هذه الإلكترونات. ويمكن توجيه حزمة الإلكترونات E-beam بواسطة مجالات كهربية أو



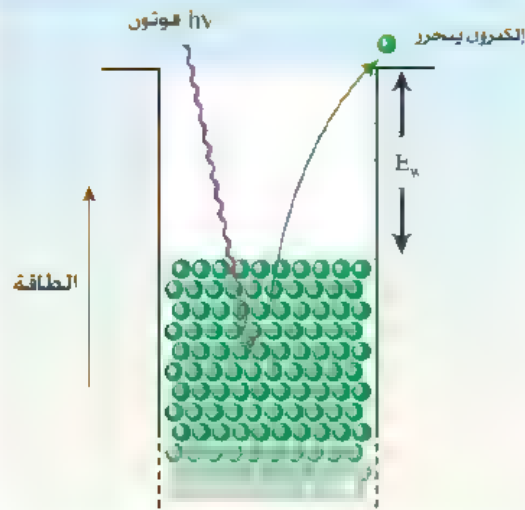
(شكل ١١٧)

يمكن أن يتحرر الإلكترون من المعدن إذا أعطى طاقة كافية



(شكل ١١٨)

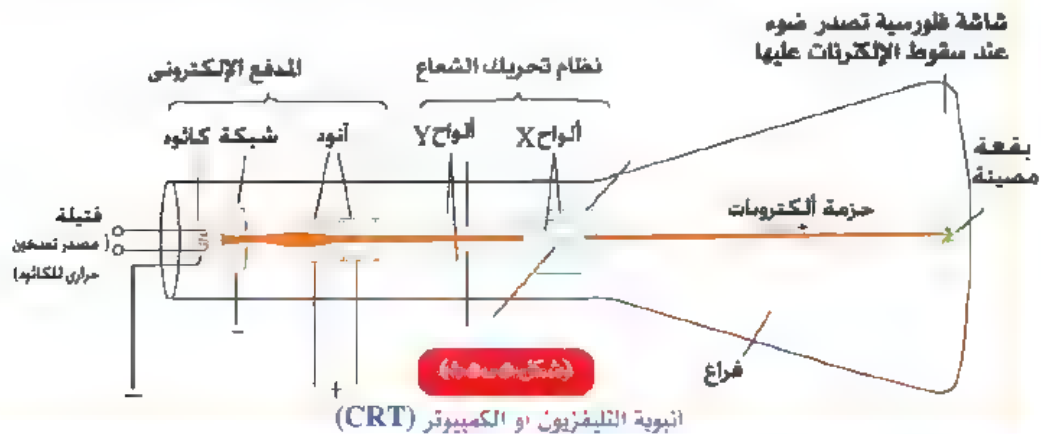
أقل طاقة يمكن أن تحرر الإلكترون (دالة الشغل)



(شكل ١٥-٥)

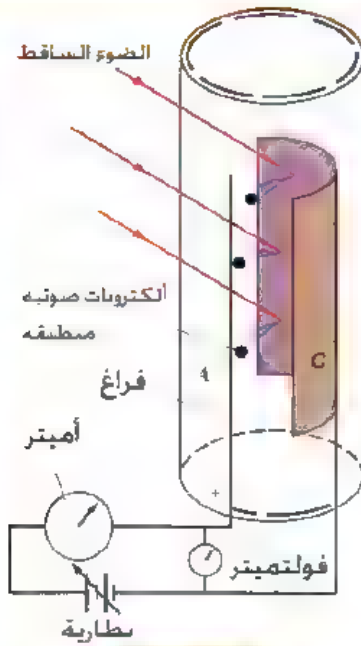
الإلكترون الأكثر ارتباطاً يحتاج إلى طاقة أكبر

مغناطيسية لمسح الشاشة نقطة بنقطة Raster حتى تكتمل الصورة (شكل ١٥-٥). وعندما يسقط ضوء على الكاثود بدلاً من تسخين الفتيلة، فإن تياراً يمر أيضاً في الدائرة. ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء. وتسمى ظاهرة انطلاق الإلكترونات بسبب سقوط ضوء على سطح معدني ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect (شكل ١٦-٥). لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بالنظرية الكلاسيكية للضوء. فباعتبار أن الضوء موجات، يمكن أن يمتص بعضها في المعدن، أي تعطى موجات الضوء طاقة للإلكترونات لتنتقل. عندئذ فإننا نواجه عدة مشكلات في فهم ما يحدث في الملاحظة العملية. فإنه طبقاً لهذا التصور الكلاسيكي، فإن شدة التيار أو انطلاق



(شكل ١٦-٥)

أنبوبة التليفزيون أو الكمبيوتر (CRT)



(شكل ١٧-٥)

تدري كهروضوئي يشاهد على امتصاص
فوتونات على سطح معدني
(خلية كهروضوئية)

الإلكترونات (والتي تسمى الإلكترونات الكهروضوئية Photoelectrons) يتوقف على شدة الموجة الساقطة، بصرف النظر عن ترددها، وأن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة (أو سرعتها) يجب أن تزداد مع زيادة شدة الإضاءة. وكذلك حتى لو كانت شدة الإضاءة قليلة، فإن تسليط الضوء لمدة طويلة كفيلاً بإعطاء الإلكترونات الطاقة اللازمة لتحرر، بصرف النظر عن تردد موجة الضوء الساقط.

ولكن المشاهدة العملية تختلف تماماً عن هذه التوقعات المبنية على النظرية الكلاسيكية. فقد لوحظ أن انطلاق الإلكترونات يتوقف بالدرجة الأولى على تردد الموجة الساقطة وليس شدتها. إذا لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من قيمة حرجية V_c مهما كانت الشدة. أما إذا زاد التردد عن V_c فإن التيار الكهروضوئي يزداد مع الشدة (شكل

١٧-٥). ثم أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة - أي سرعتها - تتوقف على تردد الموجة الساقطة أيضاً وليس على شدتها. وأن انطلاق الإلكترونات يحدث لحظياً. ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة. بل إن الإلكترونات تنطلق في التو واللحظة، حتى لو كانت شدة الإضاءة ضعيفة، ولكن بشرط أن يكون تردد الضوء أكبر من الحد الحرج V_c .

تمكن أينشتاين Einstein من أن يفسر هذه المشاهدات التي عجزت النظرية الكلاسيكية للضوء عن تفسيرها. فاز أينشتاين بجائزة نوبل في الفيزياء عن هذا التفسير عام ١٩٢١م باكتشافه قانون التأثير الكهروضوئي.

يتلخص هذا التفسير فيما يلي،

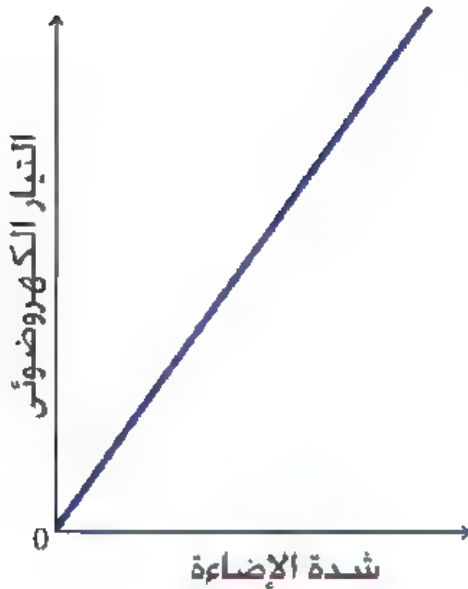
إذا سقط فوتون طاقته $h\nu$ على سطح معدني، وكانت هذه الطاقة أكبر من حد معين $h\nu_c$ ، يساوي ما يسمى دالة الشغل ويرمز لها بالرمز E_w Work Function، وهي الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن (شكل ١٧-٥)، فإن هذا الفوتون

يستطيع بالكاد أن يحرر إلكترون، أي أن،

$$h\nu_c = E_w \quad (١-٥)$$

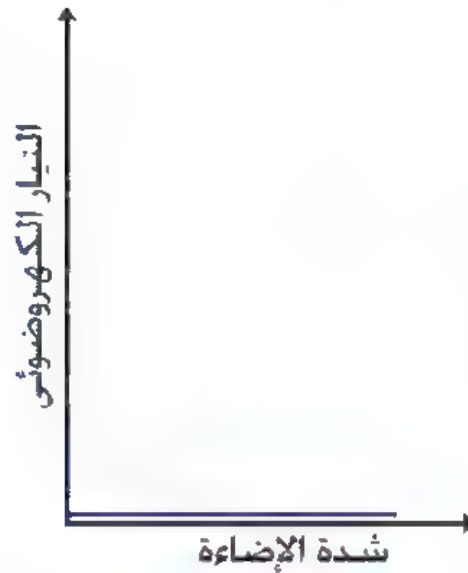
فإذا زادت طاقة الفوتون الساقط عن ذلك، فإن الإلكترون يتحرر، وفرق الطاقة يظهر على شكل طاقة حركية (KE) Kinetic Energy، أي يتحرك بسرعة أكبر، وتزداد هذه الطاقة الحركية بزيادة التردد، أما إذا كانت $h\nu$ أقل من E_w ، فإن الإلكترون لا يتحرر، مهما كانت شدة الإضاءة. كذلك فإن انطلاق الإلكترونات يحدث لحظياً، ولا يكون هناك فترة إنتظار لتجميع الطاقة، بشرط أن تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أكبر من E_w ، وعلى ذلك فإنه $h\nu_c$ (حيث ν_c هي التردد الحرج) تتوقف فقط على E_w أي نوع المادة، ولا تتوقف على شدة الضوء، ولا زمن التعرض للضوء، ولا فرق الجهد بين المهبط والمصعد. ويمكن كتابة معادلة أينشتاين على الصورة الآتية :

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_c \quad (٢-٥)$$



(شكل ٥-١٠) إذا كانت $\nu > \nu_c$

تغير التيار الكهروضوئي مع شدة الإضاءة



(شكل ٥-١١) إذا كانت $\nu < \nu_c$

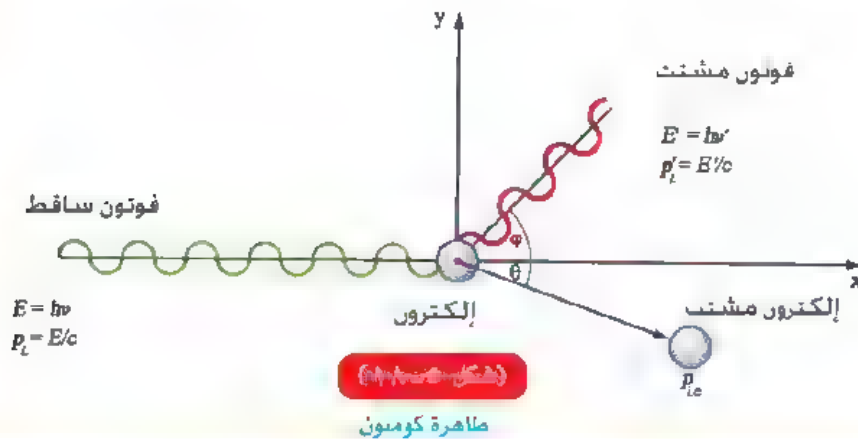
تغير التيار الكهروضوئي مع شدة الإضاءة

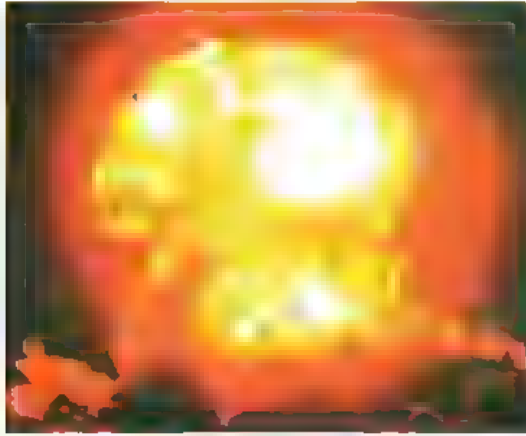
ظاهرة كومبتون Compton Effect

لوحظ أنه عند سقوط فوتون (من أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر أن تردد الفوتون يقل ويغير اتجاهه، وتزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه (شكل ٥-١٨). ولا يمكن تفسير ذلك بالنظرية الموجية (الكلاسيكية). إنما يمكن تفسير ذلك من خلال فرض بلانك أن الإشعاع الكهرومغناطيسي مكون من فوتونات، وأن هذه الفوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات، كما تصطدم كرات البلياردو. عندئذ لا بد من بقاء كمية الحركة Conservation of Momentum. أي أن كمية الحركة قبل التصادم تساوي كمية الحركة بعد التصادم. وكذلك قانون بقاء الطاقة Conservation of Energy أي أن (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) قبل التصادم = (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) بعد التصادم. ومن ثم، فإننا لا بد أن نعتبر أن الفوتون جسيم له كمية حركة، أي سرعة وكتلة، كما للإلكترون سرعة وكتلة، وبالتالي كمية حركة.

خواص الفوتون:

من كل ما سبق من مشاهدات وتجارب، فإن الفوتون هو كم من الطاقة مركز في حيز صغير جداً، وله كتلة وله كمية حركة. طاقته تساوي $h\nu$ ، وهو يتحرك باستمرار بسرعة الضوء c ، وهي ثابتة مهما كان التردد. وقد أثبت أينشتاين أن الكتلة والطاقة ترتبطان بعلاقته الشهيرة $E = mc^2$. أي أن فقد الكتلة يظهر على شكل طاقة. وهذا هو أساس القنبلة الذرية (شكل ٥-١٩)، حيث وجد أن انشطار النواة يصحبه فقد كتلة صغيرة جداً، ولكنه يتحول إلى طاقة كبيرة جداً حيث أن مربع سرعة الضوء كمية كبيرة جداً ($c^2 = 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$). ولذلك فإن قانون بقاء الكتلة وقانون بقاء الطاقة





الشكل (٢-٥) (١)

المسألة الدرية

يندمجان في قانون بقاء الكتلة والطاقة معا. ومعنى ذلك ان الفوتون الذى طاقته $h\nu$ تكون كتلته $h\nu/c^2$ اثناء حركته. وحيث ان سرعته c ، فإن كمية الحركة وهى حاصل ضرب الكتلة فى السرعة تصبح $h\nu/c$. فإذا سقط شعاع من الفوتونات على سطح ما بمعدل ϕ_L Photons/s فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه، يعانى تغيراً فى كمية الحركة يساوى

$2mc$. إذا القوة التى تؤثر بها حزمة الفوتونات على السطح هى التغير فى كمية الحركة فى الثانية.

$$F = 2mc\phi_L$$

$$F = 2 \left(\frac{h\nu}{c} \right) \phi_L = \frac{2P_w}{c} \quad (2-5)$$

حيث P_w هى القدرة بالوات Watts للطاقة الضوئية الساقطة على السطح. هذه القوة صغيرة جداً فلا تؤثر تأثيراً ملحوظاً على سطح الحائط، ولكنها يمكن ان تؤثر على إلكترون حر لصغر كتلته وحجمه، فتقذفه بعيداً. وهذا هو تفسير ظاهرة كمبتون. وفى النموذج الميكروسكوبى (المجهري)، يمكن تصور الفوتون على أنه كرة نصف قطرها يساوى الطول الموجى للموجة λ ، تتذبذب بمعدل ν . ومجموع هذه الفوتونات لها مجال كهربي ومجال مغناطيسى، والمجالان متعامدان على بعضهما البعض، وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات. ولذلك فإننا نعتبر ان حزمة الفوتونات تحمل الطاقة التى يحملها شعاع الضوء. ونستطيع ان نراقب الخواص الموجية فى سلوك حزمة الفوتونات ككل، وشدة الموجة - ومقياسها شدة المجال الكهربي أو شدة المجال المغناطيسى المصاحب لشعاع الضوء - تدل على مدى تركيز الفوتونات. أى ان الحركة الموجية تكون مصاحبة لتيار فوتونات بأعداد كبيرة، وهذا ما يسمى النموذج الماكروسكوبى (اى الكبير) أى ان النموذجين الماكروسكوبى والميكروسكوبى مرتبطان ببعضهما البعض.

فإذا كان الأمر يتعلق بما يحدث على مستوى الإلكترون أو الذرة، فإننا نستخدم نموذج الفوتون وهو النموذج الميكروسكوبي. ولكن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان. المهم أن نفهم كيف نطبق كلا في مكانه. حسب حجم العائق الذي يعترض طريق الضوء. فإن كان العائق له أبعاد أكبر بكثير من λ ، طبقنا النموذج الماكروسكوبي. أما إذا كان العائق على مستوى الذرة أو الإلكترون أي في حدود λ ، فإننا لابد أن نتعامل مع النموذج الميكروسكوبي أي الفوتون.

مثال

احسب القوة التي يؤثر بها شعاع قدرته 1 W على سطح حائط.

الحل

$$F = \frac{2 P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8} \text{ N}$$

وهذه القوة لاتكاد تؤثر على الحائط

علاقة الطول الموجي للفوتون بكمية الحركة الخطية

$$\lambda = c/v$$

بضرب البسط والمقام في h

$$\lambda = \frac{hc}{h\nu} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$\because P_L = mc$$

$$= \frac{h\nu}{c^2} c$$

$$= \frac{h\nu}{c}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{P_L}$$

(٤-٥)

أي أن الطول الموجي هو ثابت بلانك مقسوما على كمية الحركة P_L . يلاحظ أنه عند سقوط فوتونات على سطح ما، فإن مقارنة تحدث بين λ والمسافة البينية لذرات السطح. إذا كانت λ أكبر بكثير من المسافات البينية، فإن الفوتونات تعامل هذا السطح كسطح متصل، وتنعكس منه، كما في النظرية الموجية. أما إذا كانت المسافات البينية مقاربة للطول الموجي λ ، فإن الفوتونات تنفذ من خلال الذرات. وهذا ما يحدث مثلاً في حالة أشعة X.

مشاق

احسب كتلة الفوتون وكمية حركته إذا كان $\lambda = 380\text{nm}$

الحل

$$v = c/\lambda = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(380) (1 \times 10^{-9} \text{ m})}$$

$$= 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$m = E/c^2 = h\nu/c^2 = \frac{(6.625 \times 10^{-34} \text{ Js}) (7.89 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2}$$

$$= 5.81 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

$$P_L = h/\lambda = \frac{(6.625 \times 10^{-34} \text{ Js})}{(380) (1 \times 10^{-9} \text{ m})}$$

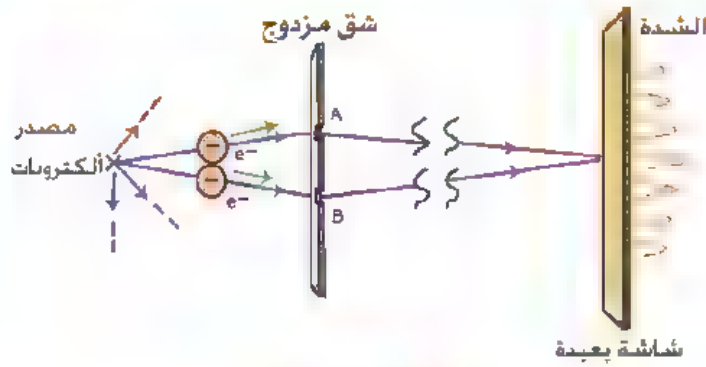
$$= 1.74 \times 10^{-27} \text{ kgm/s}$$

الطبيعة الموجية للجسيم:

في الكون قدر كبير من التماثل Symmetry. فإذا كانت الموجات لها طبيعة جسيمية، فلماذا لا يكون للجسيم طبيعة موجية؟ هذا التناظر Wave Particle Duality صاغه دي برولي De Broglie عام ١٩٢٢، بأن الجسيم له طبيعة موجية طولها الموجي

$$\lambda = h/P_L \quad (٤-٥)$$

حيث P_L هي كمية حركة الجسيم، وهي معادلة معادلة لمعادلة الفوتون. ولكن ما معنى ذلك؟ أننا ننظر إلى الضوء على أنه مجموعة هائلة من الفوتونات، في إجمالها معا لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيدود، بحيث تصف شدة الموجة تركيز الفوتونات، كما لو كان الفوتون يحمل الصفات الوراثية للموجة، من حيث التردد والطول الموجي والسرعة. بنفس المنطق، فإننا ننظر إلى شعاع من الإلكترونات على أنه مجموعة هائلة من الإلكترونات في إجمالها لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي. أما الإلكترون على حدة فهو أيضا يحمل الصفات الوراثية للكل، من حيث الشحنة والكتلة والدوران حول نفسه



(شكل ٥-٢٠)

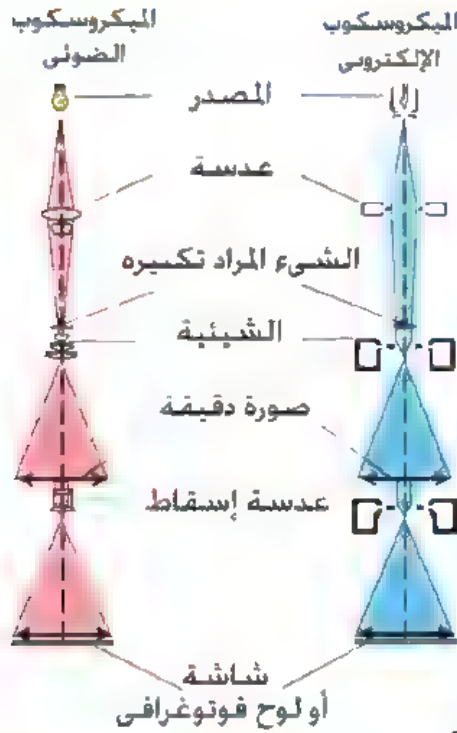
حيود الإلكترونات في شق مزدوج

(اللف المغزلي) Spin

وكمية الحركة. وعلى هذا يكون للموجة المصاحبة طول موجي. ويعني ذلك أن شدة الموجة المصاحبة تدل أيضا على تركيز الإلكترونات، ويكون للموجة المصاحبة خواص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل

والحيود، تماما كالضوء (شكل ٥-٢٠). ولكن هل معنى ذلك أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاعا من الضوء الإجابة نعم، والدليل على ذلك هو اكتشاف الميكروسكوب الإلكتروني.

المجهر الإلكتروني Electron Microscope



(شكل ٥-٢١)

لمجهر الإلكتروني

المجهر الإلكتروني يعتبر من الأجهزة

المعملية التي تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات، وهو يشبه المجهر الضوئي في نواح عديدة.

الاختلاف المهم بينهما هو قدرة التحليل Resolving Power، لأن المجهر الإلكتروني له قدرة تحليلية كبيرة جداً، لأن الإلكترونات بإمكانها أن تحمل طاقة حركة عالية جداً ومن ثم أطوالاً موجية قصيرة جداً (معادلة ٥-٤)، وبالتالي يكون معامل تكبيره كبيراً جداً، بحيث يستطيع أن يرصد أجساماً صغيرة، لا يستطيع الضوء العادي أن يرصدها (شكل ٥-٢١).

ويمكن حساب سرعة الإلكترون المتحرر من العلاقة

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \quad (٥-٥)$$

يستخدم المجهر الضوئي الشعاع

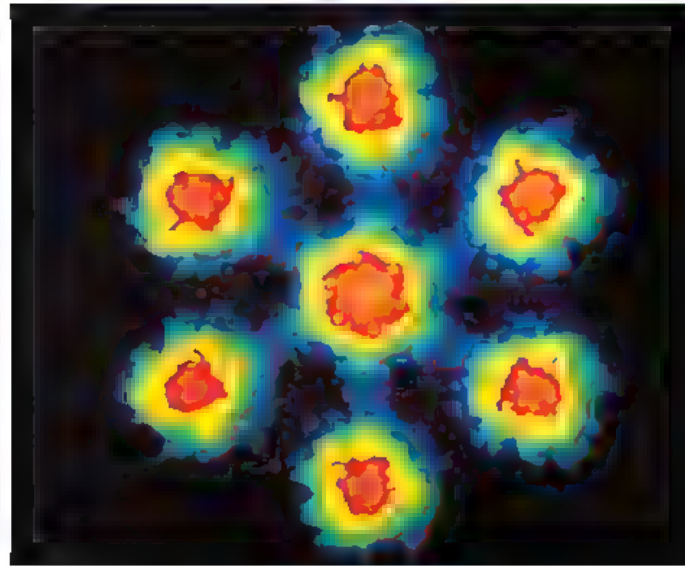
الضوئي، أما المجهر الإلكتروني فيستخدم الشعاع الإلكتروني، والشعاع الإلكتروني له



(شكل ١٠-١٠) (ب)

رأس ذبابة كما ترى بالميكروسكوب الإلكتروني

طول موجي أقصر ألف مرة أو أكثر من الطول الموجي للشعاع الضوئي المرئي. ولذلك فإن المجهر الإلكتروني له قدرة تمييز التفاصيل الدقيقة. أما العدسات المستخدمة فهي عدسات مغناطيسية تركز شعاع الإلكترونات. وتتم دراستها من خلال البصريات الإلكترونية Electron Optics.



(شكل ١٠-١١) (ب)

دائرت اليورانيوم كما يرى بنوع خاص من اميكروسكوب الإلكتروني

تلخيص

- الفيزياء الكلاسيكية لا تستطيع أن تفسر كثيراً من الظواهر ، وخاصة تلك التي يتعامل فيها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الإلكترون أو الذرة.
- الضوء أو أى إشعاع كهرومغناطيسي يتألف من مجموعة هائلة من الفوتونات، طاقة كل منها $h\nu$ ، حيث h ثابت بلانك و ν التردد.
- الدليل على وجود الفوتونات ظاهرة التأثير الكهروضوئي، حيث يتوقف التيار الكهروضوئي على شدة الإضاءة الساقطة، طالما كان التردد أعلى من تردد حرج. أما إذا كان التردد أقل من التردد الحرج فلا يسرى تيار. وتتوقف طاقة حركة الإلكترونات المحررة بفعل التأثير الكهروضوئي على التردد وليس على شدة الإضاءة.
- الفوتون له كتلة وله كمية حركة وله سرعة ثابتة هي سرعة الضوء، وله حيز هو الطول الموجي، وبالتالي يؤثر بقوة صغيرة للغاية على أى سطح يسقط عليه . ولكن تأثير هذه القوة على إلكترون حركي كبير لصغر حجمه وكتلته.
- تأثير كومتون إثبات للصفات الجسيمية للفوتونات، حيث يكون للفوتون كتلة وسرعة وكمية حركة.
- الموجة تصنف السلوك الجماعي للفوتونات.
- الطول الموجي للفوتون هو ثابت بلانك مقسوماً على كمية الحركة. ونفس العلاقة تنطبق على الجسيم الحر، حيث يصف الطول الموجي في هذه الحالة الموجة المصاحبة للجسيم.
- المجهر الإلكتروني دليل على علاقة دي بروي للجسيمات، ويستخدم في رؤية الأبعاد بالغة الصغر.

أسئلة وتمارين

أولاً: التمارين

- ١ - احسب طاقة فوتون طوله الموجي 700 nm ثم احسب كتلته وكمية حركته.
($2.58 \times 10^{-19} \text{ J}$, $0.29 \times 10^{-35} \text{ kg}$, $0.86 \times 10^{-27} \text{ kgm/s}$)
- ٢ - احسب كتلة الفوتونات في حالة X ray وفي حالة γ ray إذا كان الطول الموجي لأشعة
100nm X وأشعة γ 0.05nm
($m_x = 2.2 \times 10^{-35} \text{ kg}$, $m_\gamma = 4.4 \times 10^{-33} \text{ kg}$)
- ٣ - احسب الطول الموجي لكرة كتلتها 140kg تتحرك بسرعة 40m/s . ثم احسب لطول
الموجي للإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.
($\lambda = 1.18 \times 10^{-34} \text{ m}$, $\lambda_e = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}$)
- ٤ - محطة إذاعة تبث على موجة ترددها 92.4MHz احسب طاقة الفوتون الواحد المنبعث من
هذه المحطة، ثم احسب عدد الفوتونات المنبعثة في الثانية إذ كانت قدرة المحطة 100 kW
($E = 612.15 \times 10^{-28} \text{ J}$, $n = 16.3 \times 10^{29} \text{ photon/sec}$)
- ٥- تعرض إلكترون لفرق جهد مقداره 20kV احسب سرعته عند التصادم مع المصعد من
قانون بقاء الطاقة، حيث شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ وكتلته $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ثم
احسب الطول الموجي لهذا الإلكترون وكمية حركته.
($v = 0.838 \times 10^8 \text{ m/s}$, $\lambda = 0.868 \times 10^{-11} \text{ m}$, $P_L = 7.625 \times 10^{-23} \text{ kgm/s}$)
- ٦ - إذا كانت أقل مسافة يمكن رصدها بمجهر إلكتروني 1 nm احسب سرعة الإلكترون
ومن ثم جهد المصعد.

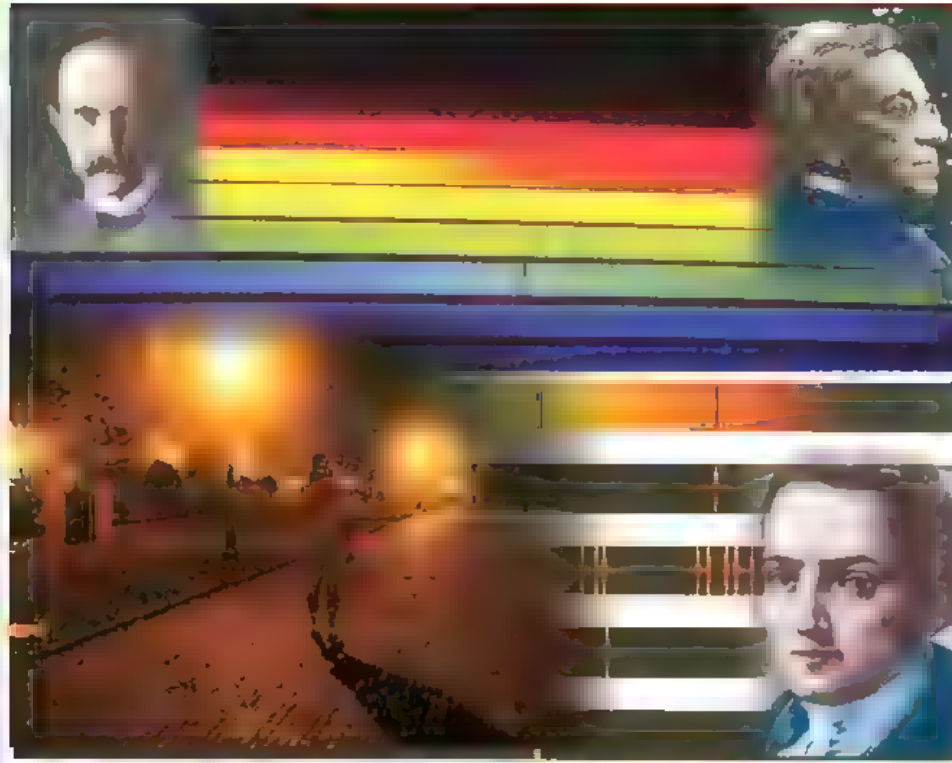
$$(\text{Velocity} = 0.728 \times 10^6 \text{ m/s} , V = 1.5 \text{ Volt})$$

- ٧ - احسب القوة التي يؤثر بها شعاع قدرته 100 kW على جسم كتلته 10 kg ماذا يحدث
إذا كان الجسم إلكترونًا ؟ ولماذا ؟
($F = 0.67 \times 10^{-3} \text{ N}$)

ثانياً: أسئلة المقال

- ١- اشرح لماذا فشلت النظرية الموجية في تفسير التأثير الكهروضوئي وكيف فسر
آينشتاين النتائج العملية لهذه الظاهرة.
- ٢- كيف تثبت الخاصية الجسيمية للضوء من إشعاع الجسم الأسود.
- ٣- اشرح ظاهرة كومتون وبين كيف أنها دليل على الخاصية الجسيمية للضوء.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل السادس : الأطياف الذرية

الانطيف الذرية

الفصل السادس

مقدمة:

كلمة الذرة Atom تعود إلى اللغة الإغريقية وتعني الوحدة التي لا تنقسم. ووضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة من خلال التجارب العملية كما يلي:

نموذج ذرة بور Bohr's Model (١٩١٣)

درس بور الصعوبات التي واجهت نموذج رذرفورد وتوصل إلى نموذج للذرة الهيدروجين مستخدماً تصورات رذرفورد، وهي:

(١) توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.



بـ



الغشيرة الأولى

الغشيرة الثانية

(شكل ١-٦)

نموذج بور للذرة

(٢) تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة في مدارات محددة تعرف باسم الأغلفة Shells لكل منها مستوى طاقة. ولا يصدر الإلكترون إشعاعاً طالما كان يتحرك في مستوى الطاقة الخاص به (شكل ١-٦).

(٣) الذرة متعادلة كهربياً حيث أن شحنة الإلكترونات حول النواة يساوي عدد الشحنات الموجبة التي تحملها النواة.

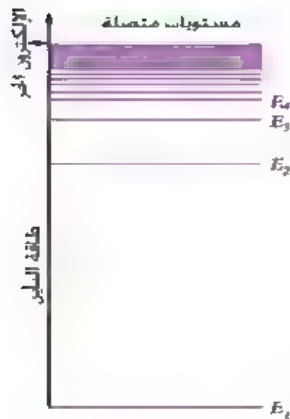
ثم أضاف إليها الفروض الثلاثة الهامة الآتية:

١- إذا انتقل إلكترون من مدار خارجي طاقته E_2 إلى مدار داخلي طاقته E_1 ($E_2 > E_1$) فإنه تنطلق نتيجة لذلك كمية من الإشعاع (أي فوتون) طاقته

$$h\nu = E_2 - E_1$$

(شكل ١-٦ ب)

مستويات لطاقة بالذرة





(شكل ٢-٦ أ) فوتون منبعث



(شكل ٢-٦ ب) امتصاص فوتون

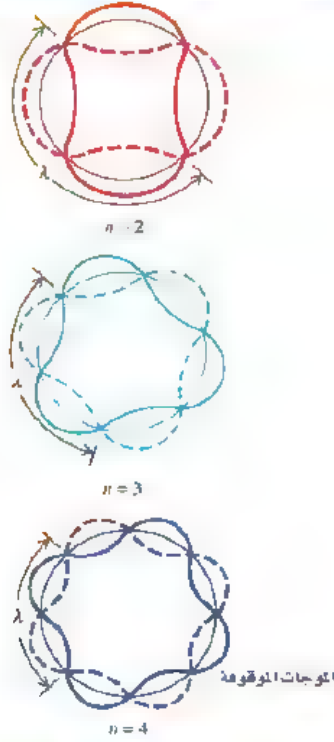
حيث ν تردد الإشعاع المنبعث (شكل ٢-٦).

٢- القوى الكهربائية (قانون كولوم) و القوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق في مجال الذرة.

٣- يمكن حساب المدار تقديريا من العلاقة $2\pi r = n\lambda$ إذا اعتبرنا أن الموجة المصاحبة له تمثل موجة موقوفة (احسب نصف قطر المدار عند $n = 1, 2, 3$) (شكل ٢-٦).

انبعاث الضوء من ذرة بور (النموذج الخطي لذرة الهيدروجين)

١- عند إثارة ذرات الهيدروجين (بأن تكتسب طاقة) فإنها لا تثار كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات في الذرات المختلفة من المستوى الأول ($n=1$) إلى مستويات مختلفة أعلى منه ($n = 2$ or 3 or 4 ).



(شكل ١٣-٢)

يمكن حساب طاقة المستوى في ذرة الهيدروجين من العلاقة :

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} eV$$

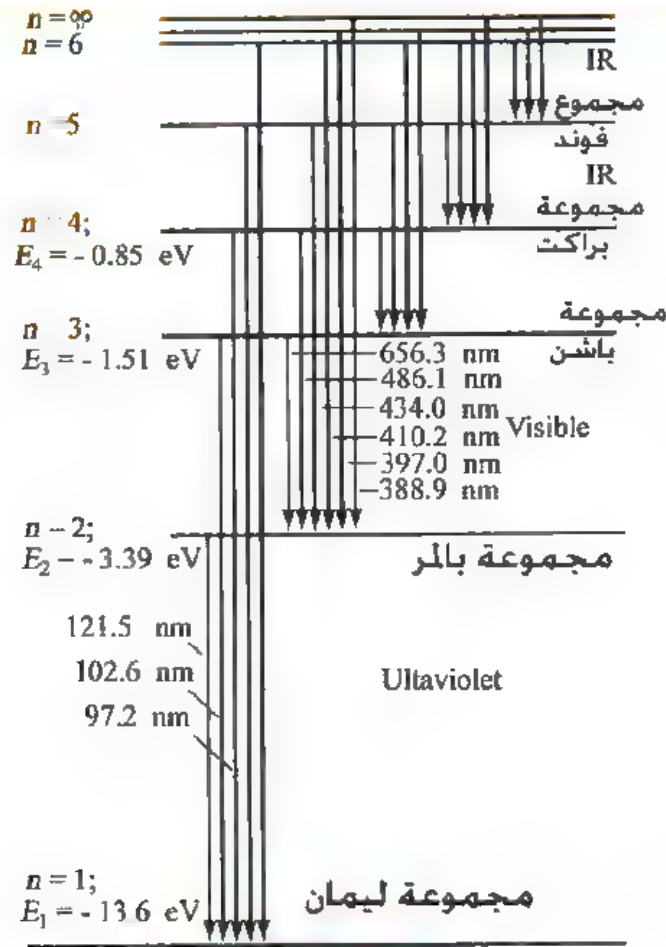
$$\text{حيث } 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

٢ - لا تبقى الإلكترونات في مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جداً (تقدر بنحو 10^{-8} ثانية) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

٣ - عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل إشعاع تردده (ν) وطاقته ($h\nu$)، حيث $h\nu = E_2 - E_1$ وطوله الموجي $\lambda = \frac{c}{\nu}$

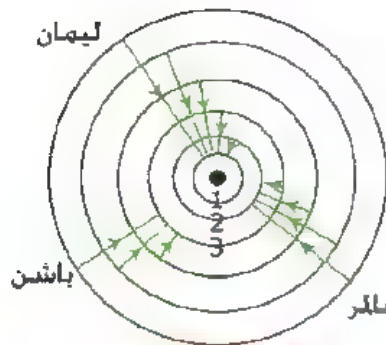
٤ - ولذلك يتكون الطيف الخطي للهيدروجين من خمس مجموعات (أو متسلسلات Series) من الخطوط، كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالي تردداً محدداً.

وتتقرب المتسلسلات لطيف ذرة الهيدروجين (شكل ١٣-٤) كما يلي،



شكل (٦-١٠)

صورة لتسلسلات ذرة الهيدروجين



شكل (٦-١١)

نموذج لذرة لأطياف الهيدروجين

١- مجموعة ليمن Lyman حيث ينتقل الإلكترون إلى المستوى K ($n = 1$) من المستويات الأعلى. وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية وهي ذات أطوال موجية قصيرة وترددات عالية.

٢- مجموعة بالمر Balmer حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى L ($n = 2$) وتقع

هذه المجموعة في منطقة الضوء المنظور.

٢- مجموعة باشن Paschen حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى M ($n = 3$)
وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٤- مجموعة براكت Brackett حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى N ($n = 4$).
وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٥- مجموعة هوند Pfund حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى O ($n = 5$).
وتقع هذه المجموعة في أقصى المنطقة تحت الحمراء وهي أكبر الأطوال الموجية وأقلها تردداً.

المطياف Spectrometer

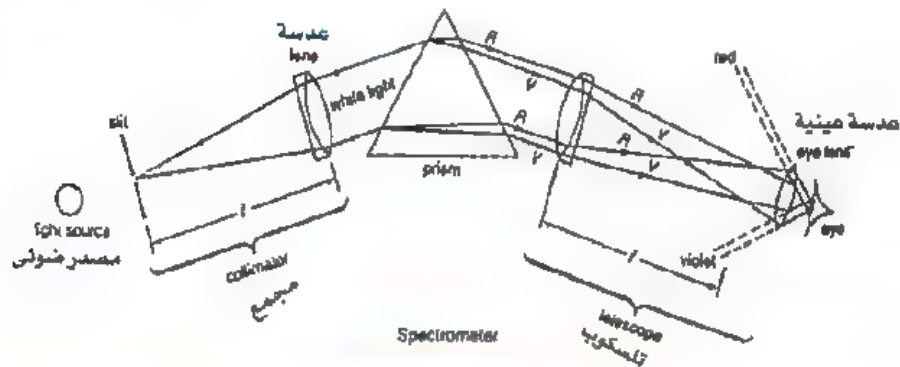


شكل (٥-٥) جهاز

المطياف

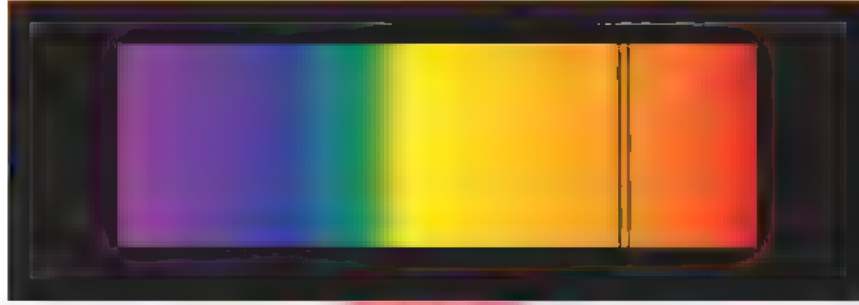
للحصول على طيف نقى
يستخدم عادة المطياف (Spectrometer)
(شكل ٥-٦) ويتكون من ثلاثة أجزاء
رئيسية. هي:

١- مصدر الأشعة: وهو عبارة عن مصدر
ضوئي أمامه فتحة مستطيلة ضيقة
يمكن التحكم في اتساعها بواسطة
سمار محوى. توجد هذه الفتحة في بؤرة عدسة محدبة.



شكل (٥-٦) رسم

تخطيطي للمطياف



شكل (١٣٦)

استخدام لمطيف لتقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات



فرانكفور

٢- منصدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثي من الزجاج.
٣- تلسكوب ويتكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.
لاستخدام المطيف في الحصول على طيف نقى تضاء
الضئحة المستطيلة الصيقة - كما في الشكل السابق - بضوء
أبيض متالق يسقط من الضئحة على المنشور في وضع النهاية
الصغرى للانحراف، ويوجه التلسكوب لاستقبال الأشعة المارة
خلال المنشور، ويتضح أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها،
وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى. لذلك تعمل الشيئية على
تجميع كل منها في بؤرة خاصة في المستوى البؤري لهذه العدسة
يمكن رؤيتها محددة بواسطة العينية، وبذلك يتم الحصول على
طيف نقى.

بدراسة الأنماط للمواد المختلفة ، والتي تكون ذراتها في حالة إثارة نلاحظ أن:

- الطيف الذي يتكون من جميع الأطوال الموجية أو يتضمن توزيعاً مستمراً أو متصلاً للترددات يكون صورة طيف شريطي فيما يعرف بالطيف المستمر.
- أما الطيف الذي يتضمن توزيعاً غير مستمر للترددات أو الأطوال الموجية يسمى الطيف الخطي.
- الطيف الناتج عن انتقال الذرات المثارة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى يسمى طيف انبعاث.

وجد عمينا أنه إذا مر ضوء أبيض خلال غاز فإنه يلاحظ اختفاء بعض الأطوال الموجية في الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله. هذه الأطوال الموجية هي نفسها الأطوال الموجية في أنماط الانبعاث الخطية لهذا الغاز شكل (٦-٦)

يسمى هذا الطيف بطيف الامتصاص الخطي Absorption Spectra. وتمثل خطوط فرونهوفر Fraunhofer في طيف الشمس أنماط امتصاص خطية للعناصر الموجودة في جو الشمس. أثبت ذلك وجود عنصرى الهليوم و الهيدروجين على الشمس.



شكل (٦-٦)

طيف الانبعاث لبعض العناصر

الأشعة السينية X-Rays

ما هي الأشعة السينية؟

هي أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية، طولها الموجى قصير (ما بين 10^{-8} m ، 10^{-13} m). وتقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما وبالتالي فهي عالية الطاقة. أول من اكتشفها رونتجن Rontgen، وسماها هكذا لأنه لم يعرف ماهيتها، فاطلق عليها اسم الأشعة المجهولة.

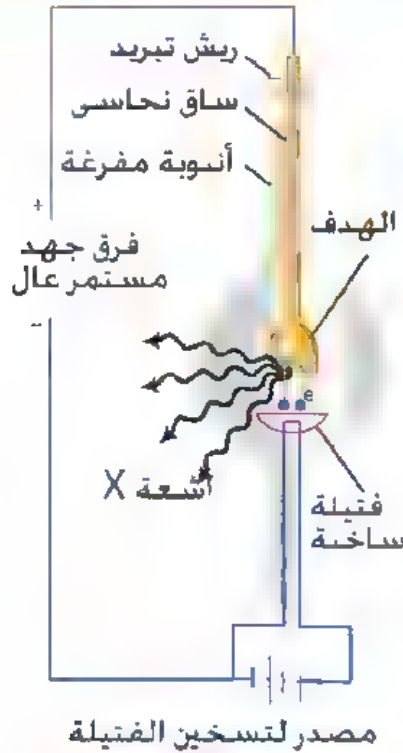
خواصها

- ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
- ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- تحيد في البلورات.

- تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

طريقة الحصول على الأشعة السينية باستخدام

أنبوب كوليدج Coolidge



عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربائي، حيث تكتسب طاقة حركة كبيرة جداً يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف

عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف (من التنجستن) يتحول جزء من طاقتها أو كلها إلى أشعة شكل (٦ - ٧) .

شكل (٦ - ٧)

نبوب كوليدج لتوليد الأشعة السينية

طيف الأشعة السينية

بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركب شكل (٦ - ٨)

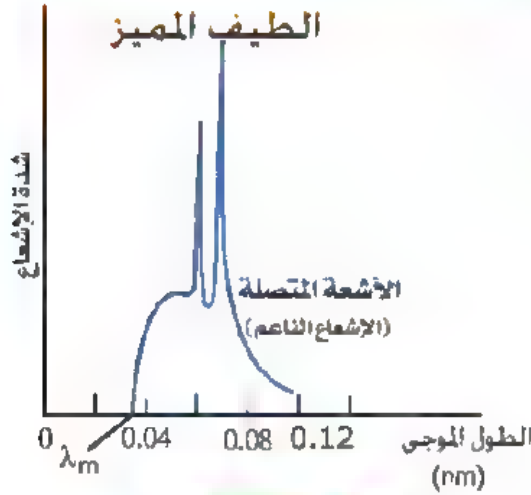
أ- طيف متصل Continuous Spectrum من جميع الأطوال الموجية (في حدود معينة) لا تتغير بتغير مادة الهدف.

ب- طيف خطي Line Spectrum يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف يسمى بالطيف المميز للأشعة السينية.

تفسير توليد الأشعة السينية:

أ- الطيف الخطي المميز:

ينتج الطيف الخطي إذا اصطدم الإلكترون بأحد الإلكترونات القريبة من نواة في



شكل (٦-١)

الطيف المتصل والطيف الخطي

مادة الهدف. حيث يكتسب الأخير كمية كبيرة من الطاقة، فيقفز إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة، ويحل محله إلكترون آخر من أحد المستويات الخارجية ذات الطاقة الأعلى.

ويظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع له طول موجي محدد. ويلاحظ أن،

١- الطول الموجي للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم، ولكن يتوقف على نوع العنصر، فكلما زاد العدد الذري للعنصر (مادة الهدف) نقص الطول الموجي للإشعاع لميز.

٢- عند فروق الجهود المنخفضة قد لا تظهر الأشعة المميزة.

٣- يمكن حساب الطول الموجي لأشعة إكس (السينية) المميزة أو الشديدة Hard من علاقة،

$$h \times \frac{c}{\lambda} = (\Delta E) \quad (٦-١)$$

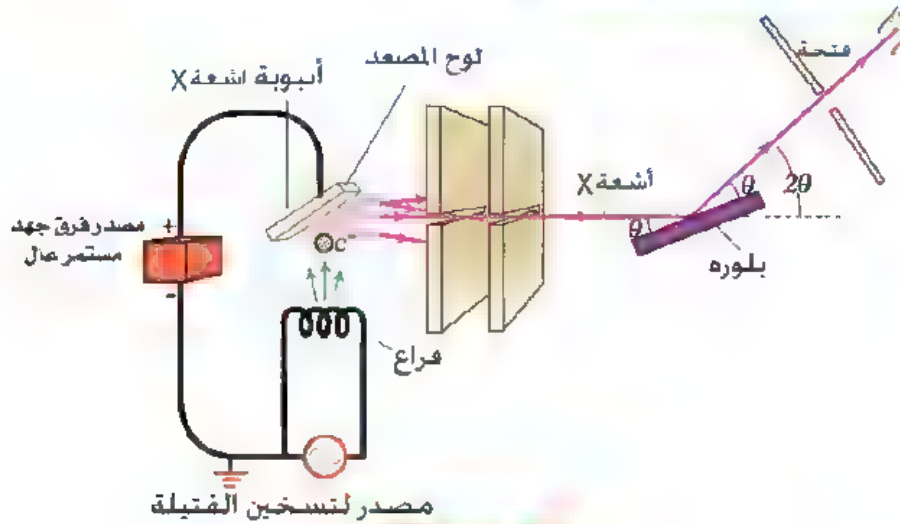
ب. الطيف المستمر أو المتصل:

ينتج نتيجة تناقص سرعة الإلكترونات بمرورها قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف، فتقل طاقتها نتيجة التصادمات و تشتت Scattering. وتصدر اشعاعا كهرومغناطيسيا بناء على نظرية ماكسويل- هرتز. لذلك يسمى هذا الإشعاع الاشعاع المستمر أو المتصل او اشعة الكابح (الفرملة) Bremsstrahlung أو الإشعاع اللين Soft.

الفرق بين طاقة الإلكترونات الأصلية وطاقتها بعد مرورها في مادة الهدف يظهر على شكل إشعاع كهرومغناطيسي يحتوي على جميع الأطوال الموجية الممكنة، لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.

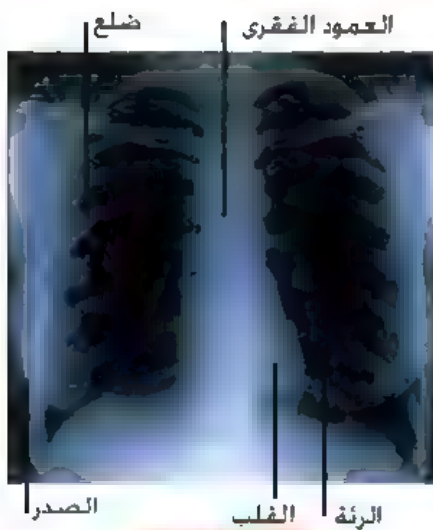
هذا الإشعاع هو الإشعاع المستمر (الطيف مستمر للأشعة السينية).

الاشعاع السيني



شكل (١٠-١)

استخدام أشعة أكس في دراسة البلورات



شكل (١٠-٢)

أشعة أكس للصدر

١- من أهم خصائص الأشعة السينية قابليتها للحيلولة عند مرورها في البلورات، لذلك تستخدم في دراسة التركيب البلوري للمواد شكل (١٠-٢) ، حيث يحدث تداخل بين الموجات التي تنفذ من بين الذرات، كما لو كانت فتحات عديدة، مثلما يحدث في التداخل في الشق المزدوج وهو يشبه بذلك ما يسمى بحزوز الحيود Diffraction Grating حيث تكون هذه مضبوطة ومظلمة تبعا لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.

٢- لها قدرة كبيرة على النفاذ، ولذلك تستخدم في الكشف عن العيوب التركيبية في المواد المستخدمة في الصناعات المعدنية.

٣- بالإضافة إلى خاصية النفاذ، فلها قدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشقوق وفي بعض التشخيصات الطبية شكل (١٠-٢)

تلخيص

- فروض بور وتصوره لذرة الهيدروجين.
- عندما يقفز الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل فإنه يصدر إشعاعاً تردده ν وطاقته $(h\nu)$ تساوي مقدار الفرق بين طاقتي المستويين أي أن،

$$h\nu = E_2 - E_1$$

حيث E_2 طاقة المستوى الأعلى، E_1 طاقة المستوى الأقل.

- يتكون الطيف الخطي لذرة الهيدروجين من خمس مجموعات و متسلسلات من لحظوظ، كل خط منها يعاين طاقة محددة، وبالتالي تردداً وطولاً موجياً محدداً .
هي:

مجموعة ليمان	في المنطقة فوق البنفسجية
مجموعة بالمر	في منطقة الضوء المنظور
مجموعة باشن	في المنطقة تحت الحمراء
مجموعة براكيت	في المنطقة تحت الحمراء
مجموعة فوند	في أقصى المنطقة تحت الحمراء

- المطياف: هو جهاز يستخدم في تحليل الضوء إلى مكوناته (المرئية وغير المرئية)

- الأشعة السينية:

هي أشعة غير مرئية أطولها الموجية قصيرة جداً، وأول من اكتشفها رونتجن Rontgen عام ١٨٩٥. نظراً لعدم معرفته بطبيعتها أطلق عليها اسم أشعة أكس (الأشعة المجهولة).

- تستخدم حيود الأشعة السينية في دراسة التركيب البلوري للجوامد، وفي كثير من المجالات الطبية والصناعية.

أسئلة وتمازيق

أولاً: أسئلة المقال

- ١- كيف استطاع بور أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين ؟
- ٢ - على أى أساس تم تقسيم طيف ذرة الهيدروجين إلى خمس مجموعات ؟
- ٣ - علل، تعتبر مجموعة ليمان من مجموعات طيف ذرة الهيدروجين أكبرها طاقة بينما مجموعة فوند أقلها طاقة .
- ٤ - اشرح كيف يستخدم المطياف فى الحصول على طيف نقى
- ٥ - وضح برسم كامل البيانات كيفية توليد اشعة X باستخدام أنبوبة كولدرج
- ٦ - قارن بين الطيف المميز للأشعة السينية والطيف المتصل لها .
- ٧ - اشرح كيف يحدث كل من الطيف الخطى المميز والطيف المتصل للأشعة السينية ثم قارن بينهما .
- ٨ - أذكر بعض التطبيقات الخاصة بالأشعة السينية .

ثانياً، عرف كلا من

- | | |
|-----------------|-------------------|
| ١- الطيف الخطى | ٢- الطيف المستمر |
| ٣- طيف الإمتصاص | ٤- طيف الإنبعاث . |

مقدمة في الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل السابع : الليزر

الفصل السابع

الليزر Laser

مقدمة:

قلما ترك اكتشاف علمي من اثر على مجالات وتطبيقات على افرع العلم مثلما تركه اكتشاف اشعة الليزر . فقد شملت تطبيقاته علم البصريات و علم الفيزياء عامة، وسائر افرع العلوم الأساسية، الكيمياء الجيولوجيا والبيولوجيا، وافرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة، وبالأخص الاتصالات.

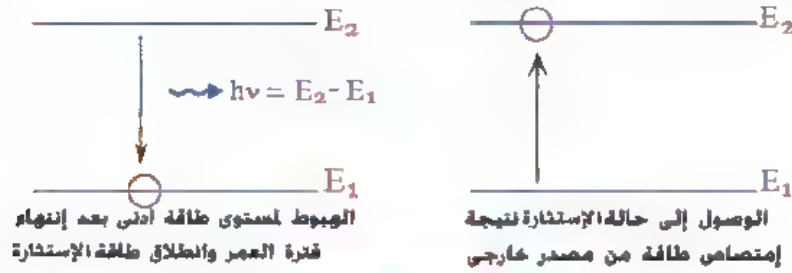
كلمة ليزر كلمة جديدة على اللغة العربية، وهي الحروف الأولى من كلمات باللغة الانجليزية تعنى تضخيم (أو تكبير) شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث .
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

في عام ١٩٦٠ توصل العالم الأمريكي ميمان Maiman من صناعة اول ليزر بواسطة بللورة من الياقوت Ruby المطعم بالكروم. بعده بشهور امكن تركيب الليزر الغازي مثل ليزر He-Ne، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر.

الانبعاث التلقائي Spontaneous Emission والانبعاث المستحث Stimulated Emission

عرفنا مما سبق ان للذرة مستويات طاقة - أدناها يسمى المستوى الأرضي Ground State، وهو الذي تتواجد فيه الذرة في حالتها العادية. وإذا رمزنا لطاقة المستوى الأرضي بالرمز E_1 ورمزنا لطاقة المستويات التي تليه بالرموز E_2, E_3, E_4 ، فإن هذه المستويات تسمى مستويات إثارة الذرة Excited States وإذا تواجدت الذرة في أحد هذه المستويات تكون ذرة مثارة Excited Atom. إذا قذفنا ذرة في حالتها العادية بفوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ ، فإن الذرة تمتص هذا القدر من الطاقة، وتنتقل من المستوى الأرضي إلى مستوى الإثارة الأول الذي تبلغ طاقته E_2 . تسمى هذه العملية إثارة الذرة إلى المستوى E_2 . ولكن سرعان ما تتخلص الذرة بعد فترة وجيزة (حوالي 10^{-8} s) - تسمى فترة العمر Lifetime - من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون، وتعود إلى حالتها العادية (شكل ٧ - ١).

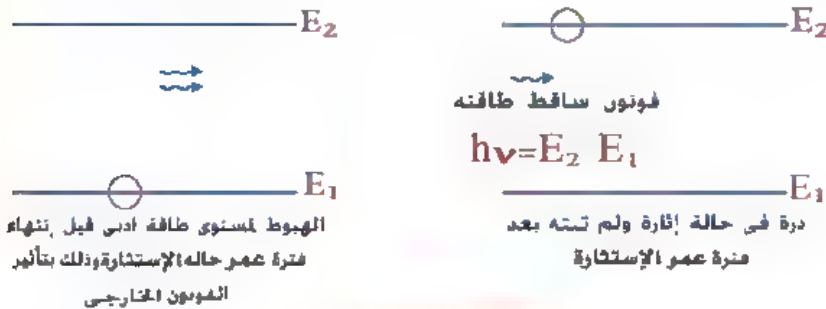
ويسمى هذا الإشعاع التلقائي Spontaneous Emission (وهو الانبعاث السائد في مصادر الضوء العادية). ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون الذي سبب الإثارة ، أما الاتجاه والطور فهما عشوائيان (شكل (٧ - ١)).



شكل (٧-١) الانبعاث التلقائي

الانبعاث التلقائي

وفي عام ١٩١٧ بين اينشتاين Einstein أنه الى جانب الإشعاع التلقائي هناك اشعاع آخر من الذرة، يسمى الاشعاع المستحث Stimulated Emission (وهو الانبعاث السائد في مصادر الليزر). إذا سقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثارة بالفعل - وموجودة في مسنوى الإثارة E_2 قبل انتهاء فترة العمر - فإن هذا الفوتون يدفع الذرة إلى أن تشع طاقة إثارتها على شكل فوتون آخر له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط، وتعود



شكل (٧-٢) الانبعاث المستحث

الانبعاث المستحث

الذرة إلى المستوى الأرضي (شكل (٧ - ٢)).

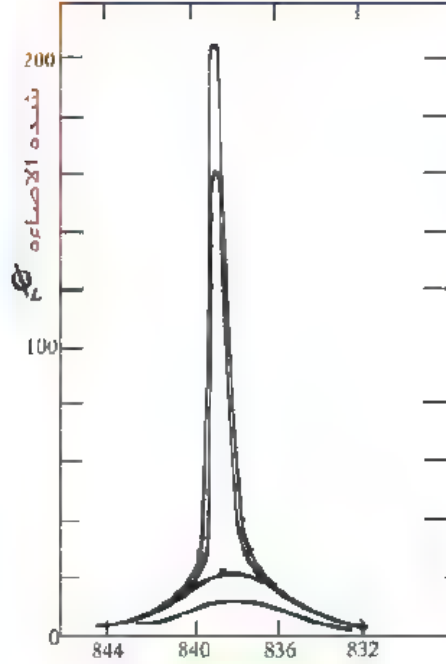
نرى من ذلك أنه في حالة الاشعاع المستحث، يوجد فوتونان. الأصلي والمستحث لهما نفس التردد، ويتحركان معا بنفس الطور وفي نفس الاتجاه.

انطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الكيفية يجعلها تتجمع في حزم متوازية وبصورة مترابطة لمسافات طويلة جدا، وتكون ذات تركيز عال (اي عالية الشدة) على طول مسار الحركة، ولا تعاني من التشتت أو الانتشار الذي تعانيه حزم الفوتونات المنبعثة بطريقة الانبعاث التلقائي.

تبين المقارنة التالية خصائص الانبعاث التلقائي والانبعاث المستحث،

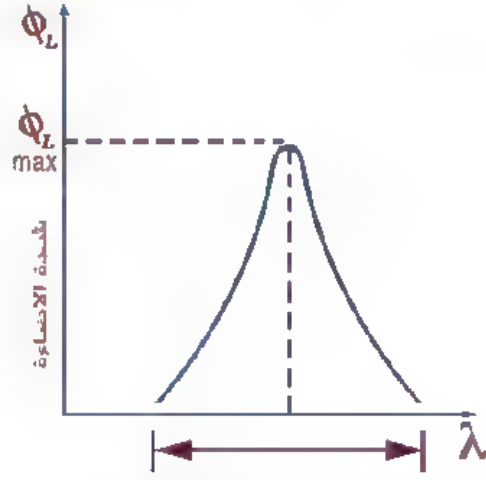
الانبعاث التلقائي	الانبعاث المستحث
١ يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة، وتنتج الفوتون بين طائفتي المستويين في شكل فوتونات تلقائية، بدون أي مؤثر خارجي، وذلك بعد انتهاء زمن بقائها Lifetime في الحالة المثارة.	١ يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة، وتنتج الفوتون بين طائفتي المستويين في شكل فوتونات تلقائية، وذلك بعد انتهاء زمن بقائها Lifetime في الحالة المثارة.
٢ الفوتونات المنبعثة تعطى مدى طيفيا كبيرا من الأطوال الموجية للبطيما الكهرومغناطيسية.	٢ للفوتونات المنبعثة جميعها طول موجي واحد فقط Monochromatic
٣ تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بصورة عشوائية تماما	٣ تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بنمط الطور Coherent وفي اتجاه واحد، على شكل اشعة متوازية تماما Collimated
٤ يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار Spreading، بحيث تناسب شدة الإشعاع عكسيا مع مربع المسافة التي تتحركها (هذا ما يعرف في الفيزياء البصريات بقانون التربيع العكسي)	٤ تظل شدة الشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة، ولذا فهي لا تخضع لقانون التربيع العكسي، حتى أنه يمكن إرسال شعاع ليزر إلى سطح القمر واستقباله مرة أخرى على الأرض دون تشتت Scattering أو انتشار Spreading على الرغم من طول المسافة المقطوعة
٥ يعتبر الانبعاث السائد في مصادر الضوء العادية.	٥ يعتبر الانبعاث السائد في مصادر الليزر.

خصائص أشعة الليزر



شكل (٧-١٣) لمدى الطيفي لضوء ليزر

المدى الطيفي لضوء ليزر



المدى الطيفي لأحد أنواع الضوء العادي

شكل (٧-١٣)

المدى الطيفي لأحد ألوان الضوء العادي

١- النقاء الطيفي Monochromaticity.

يحتوي كل خط من خطوط الطيف الضوئي في مصادر الضوء العادية على مدى كبير من الأطوال الموجية (والتي يرجع بسبب التعدد في درجات اللون الواحد عند رؤيته بالعين المجردة) و تتفاوت في شدتها من طول موجي لآخر كما هو مبين بشكل (٧-١٣) .

أما مصادر الليزر فهي تنتج خطاً طيفياً واحداً فقط، له مدى ضئيل جداً من الأطوال الموجية. وتتركز الشدة عند هذا الطول الموجي المحدد (شكل ٧-١٣ ب)، أي أنه يعتبر ضوء أحادي الطول الموجي Monochromatic Light.

٢- توازي الحزمة الضوئية Collimation.



أشعة الضوء العادي تتشتت أثناء انتشارها



أشعة الضوء الليزر تفتشر
في حزمة متوازية لمسافات طويلة

شكل ١٤٨

تشتت الضوء العادي وعدم تشتت ضوء الليزر



إطلاق شعاع ليزر

من الأرض إلى عاكس على سطح القمر
على بعد 380000km من الأرض



شكل (٧-١٧)

تغير المسافة بين الأرض والشمس باستخدام انعكاس شعاع ليزر على عاكس مثبت على سطح القمر



شكل (٧-١٨)

قياس المسافات الفلكية بشعاع ليزر

في مصادر الضوء العادية يزداد قطر الحزمة الضوئية المنبعثة من المصدر أثناء انتشارها نتيجة التشتت (Scattering) (شكل ٧-١٧). أما في شعاع الليزر فإن قطر الحزمة يظل ثابتاً أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك الحزم الضوئية بصورة متوزية ولا تعاني من تشتت يذكر، فتمكن بذلك من نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ.

٣- الترابط Coherence

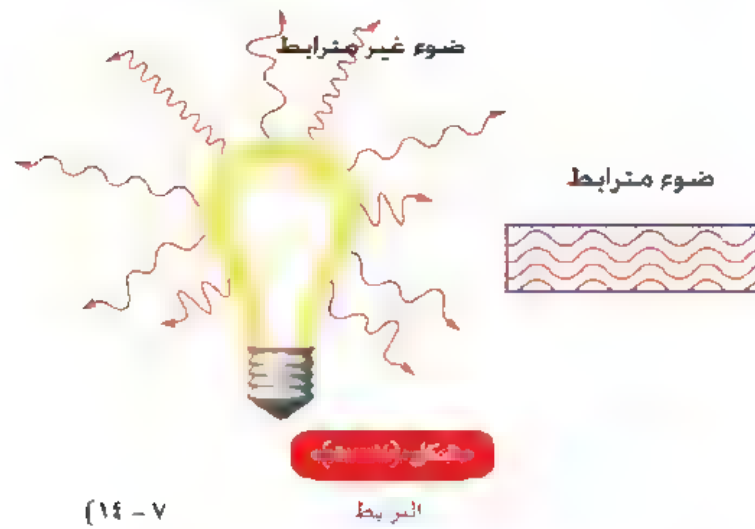
تطلق فوتونات الضوء العادي من مصادرها بصورة عشوائية غير مترابطة Incoherent، حيث تنطلق في لحظات زمنية مختلفة، وتنتشر باختلاف كبير وغير ثابت في فرق الطور.

أما في مصادر الليزر، تنطلق الفوتونات بصورة مترابطة زمانياً ومكانياً، حيث تنطلق من المصدر في نفس اللحظة، وتحفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة. وهذا يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزاً (شكل ٧-١٨).

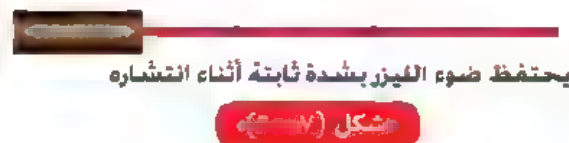
٤- الشدة Intensity

تخضع الأشعة الضوئية المنبعثة من المصادر العادية لقانون التربيع العكسي، حيث تقل

الشدة الضوئية الساقطة على وحدة المساحات من السطح كلما بعد هذا السطح عن مصدر الضوء نتيجة عدم ترابط موجاته طبقاً لقانون الترييع لعكسي (شكل ٧ - ١٤) .
 أما اشعة الليزر الساقطة على السطح فهي تحتفظ بشدة ثابتة لوحدة المساحات ولا تخضع لقانون الترييع العكسي.



نمل شدة إضاءة لضوء العادي كلما بعد عن مصدره طبقاً لقانون الترييع لعكسي



يحتفظ ضوء الليزر بشدة ثابتة أثناء انتشاره

انخفاض شدة الضوء العادي مع انتشاره ولكنها ثابتة لضوء الليزر

نظرية عمل الليزر

يعتمد الفعل الليزري Laser Action على الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال لإنتاج الليزر إلى حالة الإسكان المعكوس Population Inversion، وهي الحالة التي يكون فيها عدد الذرات في مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها في المستويات الأدنى. حتى تنهيا الفرصة لفوتونات الانبعاث المستحث أن يتضخم عددها عند مرورها ذهابا وإيابا خلال الوسط الفعال Active Medium، نتيجة الانعكاسات المتتالية بين سطحي مرآتين. فيتم حث ذرات أخرى واقعة على مسار الشعاع، وتولد فوتونات جديدة. وهكذا يتضخم الشعاع، وتحدث عملية تكبير الإشعاع بالانبعاث المستحث Stimulated Emission (شكل ٧-٧).

العناصر الأساسية لليزر

تتضمن أجهزة توليد الليزر على اختلاف أحجامها وأشكالها وطاقتها ثلاثة عناصر رئيسة مشتركة هي:

١- الوسط الفعال Active Medium: وهو المادة الفعالة لإنتاج الليزر، وهو إما أن يكون بلورات صلبة Crystalline Solids، مثل الياقوت الصناعي Ruby أو مواد صلبة شبه موصلة Semiconductors، مثل بلورات السيليكون (الفصل الثامن). أو صبغات سائلة Liquid Dye، مثل الصبغات العضوية المذابة في الماء، أو ذرات غازية مثل خليط غازي الهليوم والنيون، أو غازات متأينة مثل غاز الأرجون المتأين، أو جزيئات غازية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون.

٢- مصادر الطاقة Sources of Energy: هي المسئولة عن اكساب ذرات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها لتوليد الليزر وهي كما يلي:

(أ) الإثارة بالطاقة الكهربائية، وتتمثل في استعمال الطاقة الكهربائية المباشرة بأسلوبين، أحدهما استخدام مصادر الترددات الراديوية Radio Frequency Waves (RF)، والثاني استخدام التفريغ الكهربى Electric Discharge بفرق جهد عال مستمر، يستخدم النوع الثاني غالبا في أجهزة الليزر الغازية. مثل ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون وليزر الهليوم والنيون، وليزر الأرجون.

(ب) الإثارة بالطاقة الضوئية، وتعرف هذه الطريقة باسم الضخ الضوئى Optical Pumping. ويمكن أن تتم بوسيلتين مختلفتين هما:

- المصابيح الوهاجة Flash Lamps ذات القدرة العالية (كما في ليزر الياقوت).
- شعاع ليزر كمصدر للطاقة (وتستخدم هذه الطريقة في ليزر الصبغات السائلة).
- (ج) الإثارة بطاقة حرارية، حيث يستخدم التأثير الحراري الناتج عن الضغط الحركي للغازات في حث وإثارة المواد التي تبعث أشعة الليزر.
- (د) الإثارة بالطاقة الكيميائية، حيث تعطى التفاعلات الكيميائية بين المواد طاقة تؤدي إلى حث جزيئاتها على إنتاج شعاع الليزر. مثال ذلك التفاعلات بين مزيج من الهيدروجين والفلور، أو التفاعلات بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثاني أكسيد الكربون.

٣ - تجويف الرنيني Resonant Cavity:

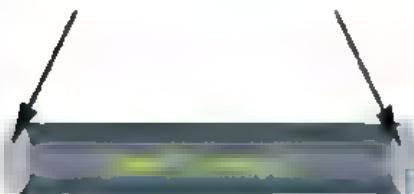
وهو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير. وهو عادة ما يكون،



(أ) تجويف رنيني خارجي External Resonant Cavity، ويكون على شكل مرآتين متوازيتين يحصران بينهما المادة الفعالة حيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التكبير الضوئي Amplification كما في الليزرزات الغازية شكل (٧ - ١٧) .

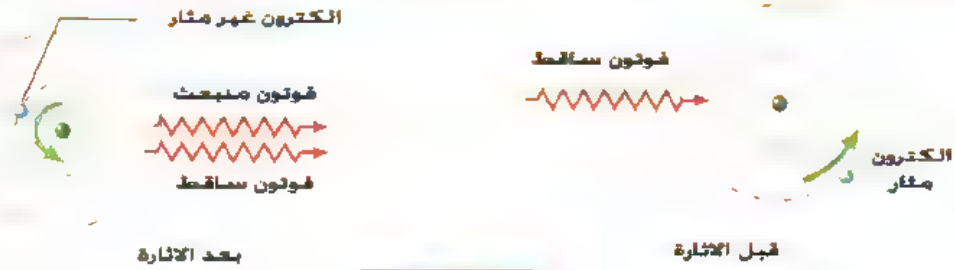
تجويف رنيني خارجي

تعمل نهايتي الوسط الفعال المصقوتان كسطحين عاكسين



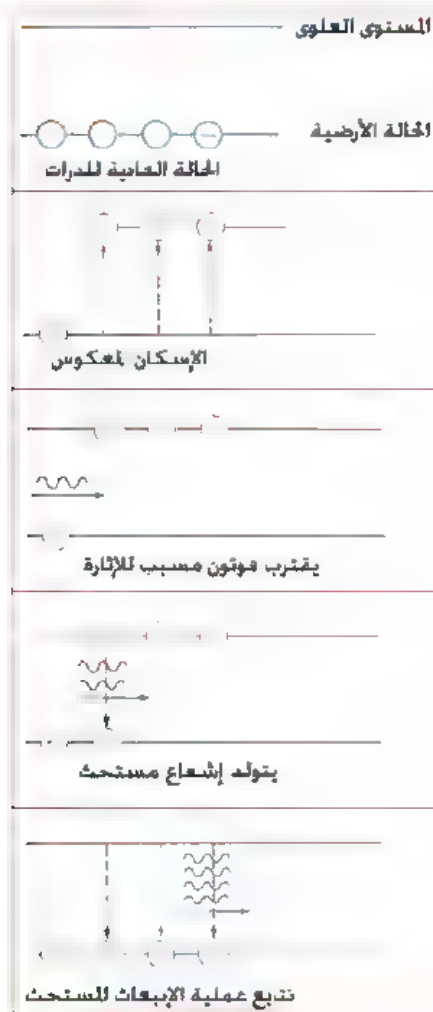
(ب) تجويف رنيني داخلي Internal Resonant Cavity حيث يتم طلاء نهايتي المادة الفعالة لتعمل كمراآتين يحصران بينهما المادة الفعالة، كما في الليزرزات الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت (شكل ٧ - ٧ب). وتكون إحدى المرآتين شبه منفذة Semitransparent لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة (شكل ٧ - ٨) .

تجويف رنيني داخلي



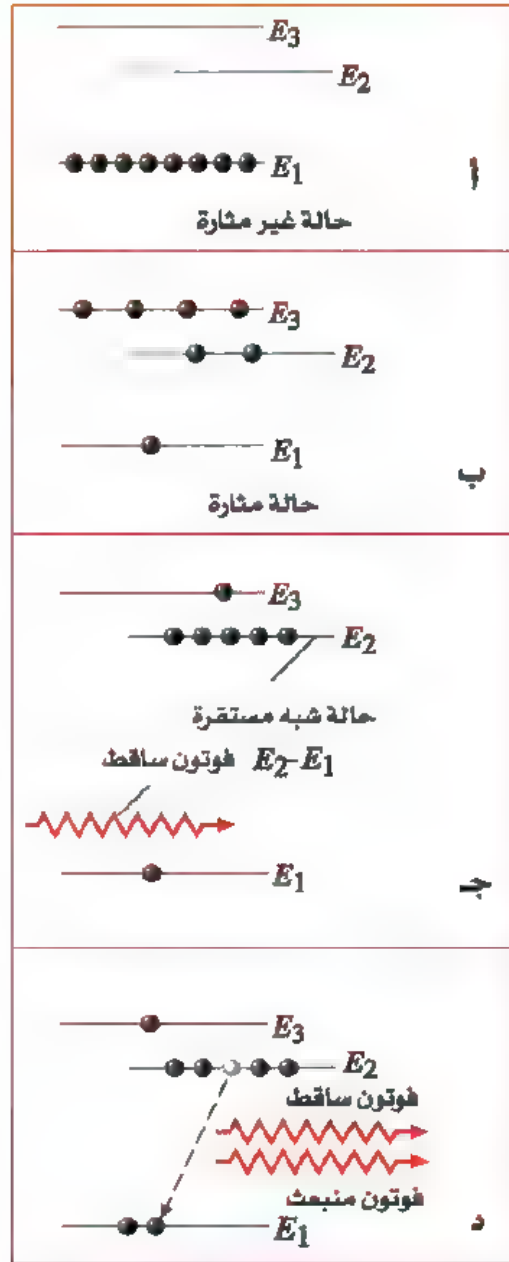
شكل (١٥٣) (١)

انبعاث مستحث بفوتون خارجي



شكل (١٥٣) (٢)

تتابع خطوات لعض الليزر



شكل (١٠٤) (The diagram)

الإسكاز المعكوس عن طريق مستوى ثالث
شبه مستقر

مرآة

مرآة شبه منفذة



شكل (١٠-١٠) (١٠-١٠)

لانعكاس التبادلي بين المرآتين

مرآة

إنبوبة زجاجية

ذرة مثارة

مرآة شبه منفذة



شكل (١٠-١١) (١٠-١١)

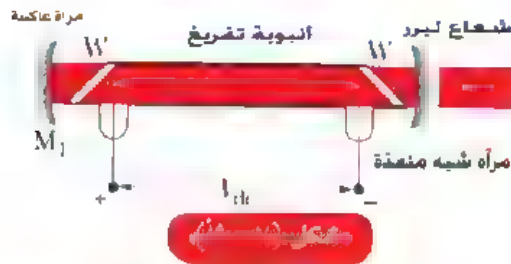
تضخيم لإشعاع بالانعكاسات المتتالية



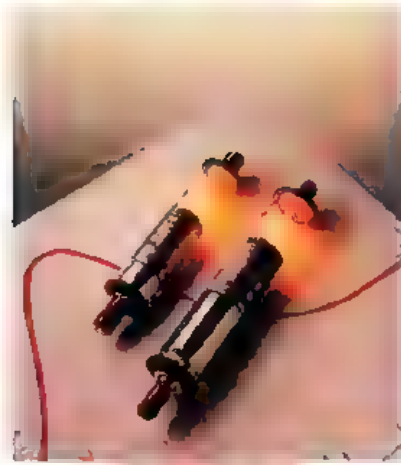
شكل (١٠-١٢) (١٠-١٢)

الإشعاع الخارج من مرآة شبه المنفذة

ليزر الهليوم-نيون (Helium-Neon Laser)



رسم تخطيطي لجهاز ليزر هليوم-نيون



شكل (٧-٩) (جهاز ليزر هليوم-نيون)

لقد تم اختيار هذين العنصرين نظرا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة في كل منهما.

(١) يتركب جهاز ليزر الهليوم-نيون مما يلي:

١- أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من غاز الهليوم وغاز النيون بنسبة 1:10 تحت ضغط منخفض حوالي 0.6 mmHg (شكل

(٧-٩).

٢- يوجد عند نهايتي الأنبوبة مرآتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة. معامل انعكاس أحدهما 99.5% و الأخرى شبه منفذة ومعامل انعكاسها 98%.

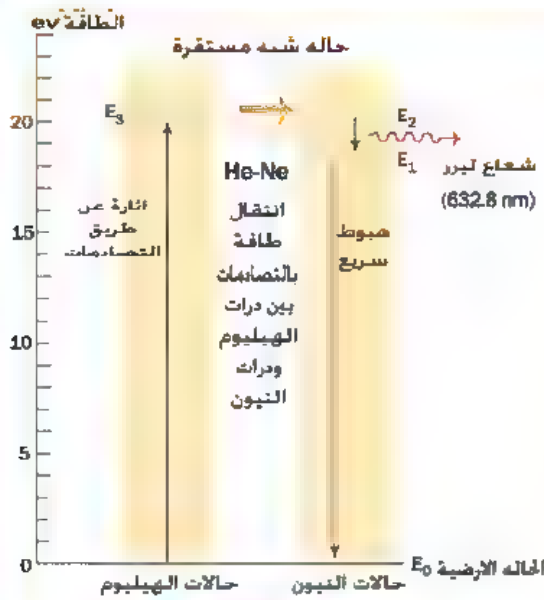
٣- مجال كهربى عال التردد يغذى الأنبوبة من الخارج لإثارة ذرات الهليوم والنيون، أو فرق جهد كهربى عال مستمر، يسلط على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى Electric Discharge

(ب) عمل الجهاز

١- يؤدي فرق الجهد الكهربى داخل الأنبوبة إلى إثارة ذرات الهليوم إلى مستويات الطاقة العليا كما بالشكل (٧-١٠).

٢- تصطدم ذرات الهليوم المثارة بذرات نيون غير المثارة تصادما غير مرن فتنتقل الطاقة من ذرات الهليوم المثارة إلى ذرات النيون نتيجة تقارب قيم طاقة مستويات الإثارة بين الذرتين فتثار ذرات النيون.

٣- يحدث تراكم لذرات النيون المثارة في مستوى طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبيا



شكل (٧-١)

رسم مسط لخطط مستويات الطاقة

في ليزر الهليوم - نيون

(حوالي 10^3 s) ، ويسمى هذا

المستوى بالمستوى شبه المستقر

Metastable State . وبذلك

يتحقق وضع الإسكان المعكوس

Population Inversion في غاز

النيون.

٤- تهبط أول مجموعة من ذرات

النيون ثم إثارتها هبوطا تلقائيا

إلى مستوى طاقة إثارة أقل،

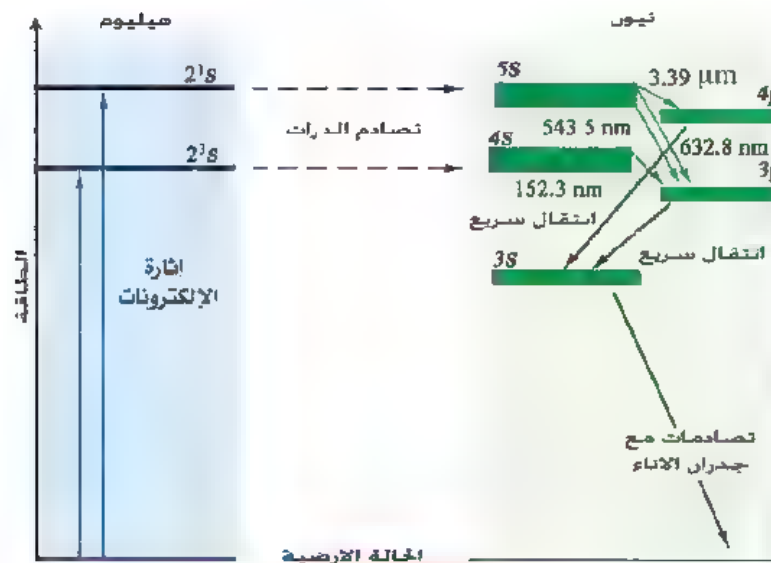
وتشع بذلك فوتونات لها طاقة

تعادل الفرق بين طاقتي المستويين

وهذه الفوتونات تنتشر عشوائيا

في جميع الاتجاهات داخل

الأنبوبة.



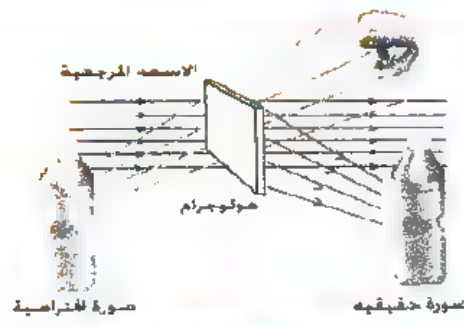
شكل (٧-٢)

الانتقالات المعكبة بين مستويات الطاقة في ليزر الهليوم - نيون

- 5- مجموعة الفوتونات التي تتحرك في اتجاه محور الأنبوبة تصادف في طريقها أحد المرآتين العاكستين، فترقد بذلك مرة أخرى داخل الأنبوبة ولا تستطيع الخروج.
- 6- أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين داخل الأنبوبة، تصطدم ببعض ذرات النيون في مستوى الإثارة شبه المستقر، والتي لم تنته فترة العمر لها، فتحتلها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة واتجاه الفوتونات المصطدمة بها، فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرآتين.
- 7- تتكرر الخطوة السابقة مرة أخرى. ولكن بالعدد الجديد من الفوتونات المتحركة بين المرآتين، فيتضاعف هذا العدد مرة أخرى، وهكذا حتى تتم عملية تضخيم الإشعاع.
- 8- عندما تصل شدة الإشعاع داخل الأنبوبة إلى حد معين، يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذ في صورة شعاع ليزر، ويبقى باقى الإشعاع داخل الأنبوبة، لتستمر عملية الانبعاث المستحث وإنتاج الليزر.
- 9- بالنسبة لذرات النيون التي هبطت إلى المستوى الأقل فإنها تفقد بعد فترة وجيزة باقى ما بها من طاقة في صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوى الأرضي، لتصطدم بها ذرات هليوم أخرى، وتمدها بالطاقة لمستوى الإثارة شبه المستقر، وهكذا.
- 10- بالنسبة لذرات الهليوم التي فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوى الأرضي، فإنها تعود وتثار مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربى داخل الأنبوبة، وهكذا.

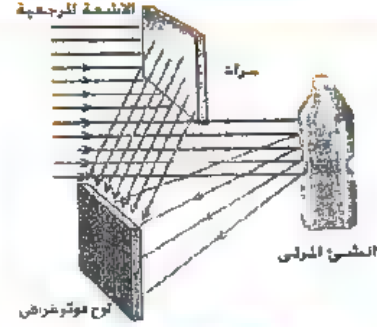
تطبيقات على الليزر

يوجد حالياً أنواع وأحجام مختلفة من الليزر ، ويغطى ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى بدأ من المنطقة المرئية إلى المنطقة فوق البنفسجية وتحت الحمراء. وبعض أجهزة الليزر يمكن أن تركز الضوء في نقطة صغيرة كافية لإسالة وتبخير الحديد، ومنها ما يكفى لثقب الماس ، بالمقابل هناك أنواع أخرى من أجهزة الليزر تبعث من الطاقة ما يكفى لتدمير الصواريخ والطائرات، التي قد تستخدم في ما يسمى حرب النجوم Star War. من أهم التطبيقات الشائعة لشعاع ليزر ما يلى،



شكل (١١١١)

الهولوجرام هو نوع من محزون الحيود



شكل (١١١٢)

تكوين الهولوجرام

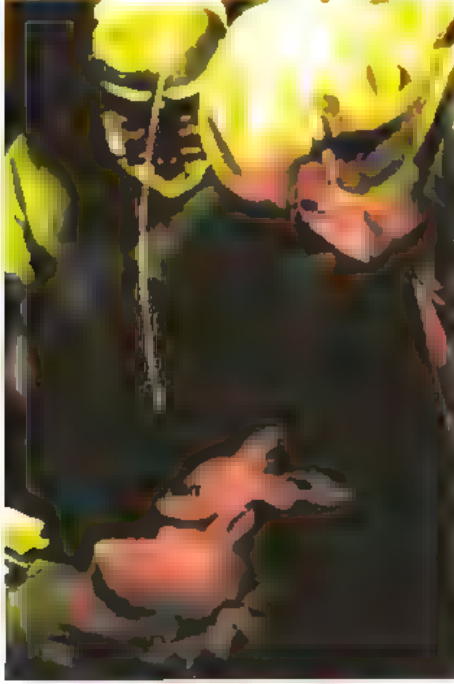
١ - الهولوجرافى او التصوير الجسم:

تتكون صور الاجسام بتجميع الاشعة الضوئية التى تترك سطح الجسم المضاء حاملة المعلومات منه إلى حيث تتكون الصورة. تظهر الصورة نتيجة الاختلاف فى الشدة الضوئية لهذه الاشعة من نقطة إلى أخرى.

هل الشدة الضوئية هى كل ما تحمله هذه الاشعة من المعلومات عن سطح الجسم؟
لنأخذ شعاعين تركا الجسم المضاء عند نقطتين عليه، هناك اختلاف فى السعة يظهر كاختلاف فى الشدة الضوئية، لأن الشدة الضوئية تتناسب مع مربع السعة، وهناك أيضا اختلاف فى طول المسار من كل من النقطتين على سطح لجسم المضاء إلى اللوح الفوتوغرافى الذى يسجل الصورة، بسبب وجود تضاريس على سطح الجسم. بذلك فإن الاشعة التى تترك الجسم المضاء تحمل - بجانب الاختلاف فيما بينها فى الشدة الضوئية - اختلافا فى طول المسار عند وصولها إلى اللوح لفوتوغرافى. بتعبير آخر هناك اختلاف فى طور الضوء يساوى $(\frac{2\pi}{\lambda} \times \text{فرق المسار})$. يسجل اللوح الفوتوغرافى المعتاد الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط، وهو ما يكون الصورة المستوية Plane Image. على ذلك فإن ما نحصل عليه من صور مستوية هو نتيجة جزء فقط من المعلومات التى تحملها موجات الضوء.

فى عام ١٩٤٨ اقترح العالم المجرى جابور Gabor - الحاصل على جائزة نوبل - طريقة للحصول على ما فقد من المعلومات و استخراجها من الاشعة، باستخدام اشعة أخرى لها نفس الطول الموجى، نسميها الاشعة المرجعية Reference Beam، وهى حزمة من الاشعة المتوازية. تلتقى هذه الاشعة مع الاشعة التى تترك الجسم المضاء حاملة المعلومات، ويتم اللقاء عند اللوح. تحدث نتيجة لذلك ظاهرة التداخل الضوئى بين حزمتى الاشعة. وبعد تحميض اللوح الفوتوغرافى، تظهر هدب التداخل الناتجة وهى صورة مشفرة نسميها الهولوجرام Hologram. بإضاءة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجى وبالنظر خلاله بالعين المجردة، نرى صورة مماثلة تماما للجسم فى أبعاده الثلاثة. دون استخدام عدسات لا يمكن تحقيق ذلك إلا باستخدام مصدر ضوئى فوتونات اشعته مترابطة. وهذا متوفر فقط فى اشعة الليزر.

ب - في الطب:



شكل (١١-٧)

استخدام الليزر في علاج

الانفصال الشبكي

تحتوى الشبكية Retina على خلايا حساسة للضوء. احيانا تصاب العين بانفصال بعض اجزاء الشبكية . فى هذه الحالة تفقد الاجزاء المصابة بالانفصال وظيفتها. ما لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين الى انفصال تام للشبكية وتفقد العين قدرتها على الابصار. وإذا تم تدرك هذه الحالة اول الأمر فإن علاجها يكون عن طريق اجراء عملية تلحم فيها اجزاء الشبكية المنفصلة بالطبقة التى تحتها. وكانت هذه العملية قديما تستغرق وقتا وجهدا كبيرين، إلا ان اشعة الليزر التى نستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كلاً من الوقت والجهد، فعملية لالتحام شكل (٧- ١١) تتم فى

اجزاء صغيرة من لثانية، حيث تصوب حزمة رفيعة من اشعة الليزر خلال انسان العين الى الجزء المصاب بالانفصال او التمزق، وتعمل الطاقة الحرارية لاشعة الليزر على اتمام عملية الالتحام. بذلك تتم حماية العين من استمرار انفصال الشبكية من ناحية، وحمايتها من التعرض لفقد القدرة على الابصار من ناحية أخرى. كما يستخدم الليزر فى علاج حالات قصر وطول النظر ، وبذلك يستغنى المريض عن النظارة شكل (٧- ١٢) .

يمكن استخدام اشعة الليزر مع الألياف الضوئية فى التشخيص والعلاج بواسطة المناظير Endoscopes.



ج - في الاتصالات حيث تستخدم اشعة الليزر والألياف

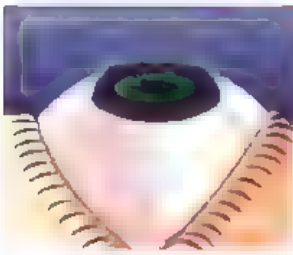
الضوئية في الاتصالات كبديل لكابلات التليفونات.

د - في الصناعة وعلى الأخص الصناعات الدقيقة.

هـ - في المجالات العسكرية مثل توجيه الصواريخ

بدقة عالية Precision Guidance والقنابل الذكية

Smart Bombs ورادار الليزر (LADAR (Laser Radar.



و - التسجيل على الأقراص المدمجة (أقراص الليزر CDs)

ز - طباعة الليزر ، حيث يستخدم شعاع ليزر في نقل

المعلومات من الكمبيوتر إلى اسطوانة Drum عليها مادة

حساسة للضوء ، ثم يتم الطبع على الورق باستخدام

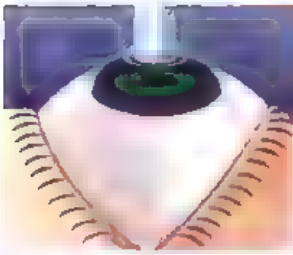
الحبر Toner .



ح - الفنون والعروض الضوئية.

ط - أعمال المساحة Surveying لتحديد المساحات والأبعاد

بدقة.



ي - أبحاث الفضاء.

شعاع الليزر

مرحى علاج لقرنيه بالليزر

ملخص

• الانبعاث التلقائي.

هو انطلاق اشعاع من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائيا وبدون تدخل خارجي.

• الانبعاث المستحث:

هو انطلاق إشعاع من الذرة المثارة نتيجة اصطدامها بفوتون آخر خارجي له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها، لتخرج في النهاية فوتونات في حالة تراكب (أي لها نفس الطور و لاتجاه والتردد).

• خصائص شعاع الليزر:

- ١- النقاء الطيفي.
- ٢- توازي الحزمة الضوئية.
- ٣- تراكب الفوتونات.
- ٤- شدة وتركيز الإشعاع.

• نظرية عمل الليزر

- ١- الوصول بالوسط الفعال إلى وضع الإسكان المعكوس.
- ٢- انطلاق الطاقة من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.
- ٣- تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التحويف الرنيني.

• العناصر الأساسية لليزر:

يتضمن أي جهاز ليزر وجود ثلاثة عناصر أساسية هي :

- ١- الوسط المادي الفعال
- ٢- مصدر الطاقة.

٣ - التجويف الرنيني.

• ليزر الهيليوم، نيون.

هو أحد أنواع الليزرزات الغازية. والوسط الفعال فيه عبارة عن خليط من غازي الهيليوم والنيون بنسبة 1:10

• تطبيقات الليزر

١- في مجال التصوير ثلاثي الأبعاد.

٢ - في مجال الطب مثل علاج الشبكية وعلاج قصر وطول النظر.

٣ - في مجال الاتصالات.

٤ - في مجال الصناعة.

٥- في المجالات العسكرية.

٦- التسجيل على الأقراص المدمجة.

٧- الطباعة الليزر.

٨- عروض الليزر والفنون.

٩- أعمال المساحة.

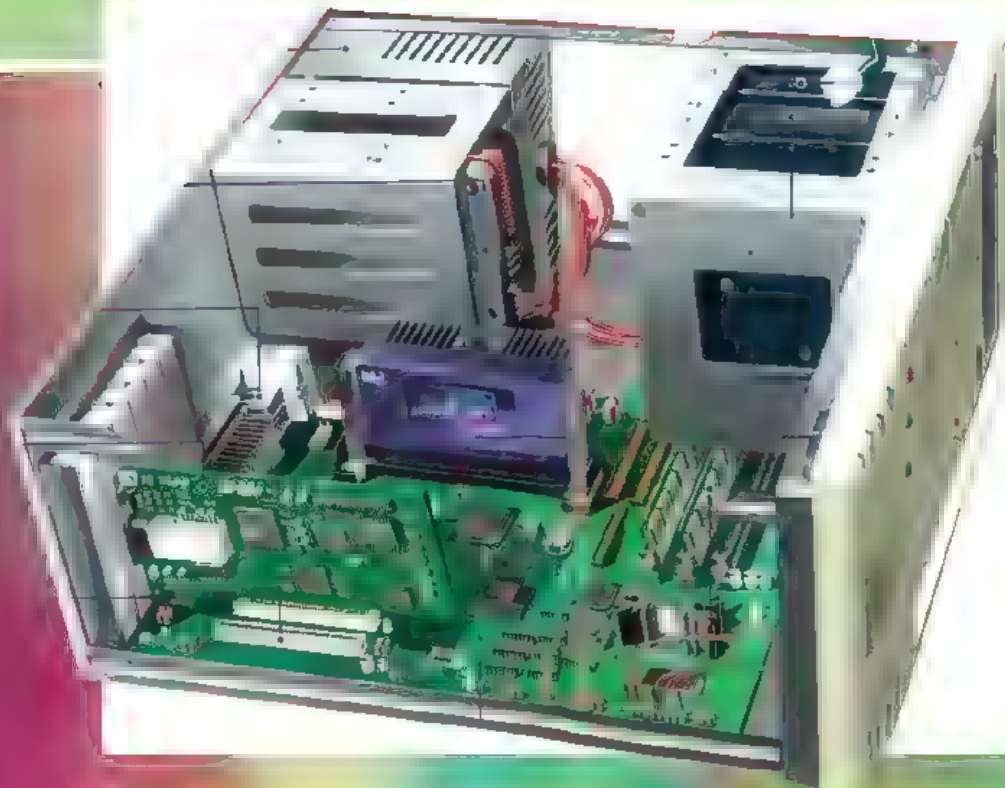
١٠- أبحاث الفضاء.

أسئلة وتارين

أسئلة المقال

- ١- ما المقصود بكلمة الليزر؟
- ٢- قارن بين الإشعاع التلقائي والإشعاع المستحث من حيث الطريقة التي يحدث بها كل منهما وخصائصه
- ٣- يتميز ضوء الليزر عن الضوء العادي بعدة خصائص. ناقش كلاً من هذه الخصائص بالتفصيل
- ٤- ناقش بالتفصيل مبدأ عمل الليزر
- ٥- ما المقصود بكل من، عملية الضخ - وضع الإسكان المعكوس.
- ٦- ما هو الدور الذي يقوم به التجويف الرنيني في إنتاج شعاع الليزر؟
- ٧- تتكون أجهزة الليزر على اختلاف أنواعها من ثلاثة عناصر أساسية. ما هي هذه العناصر؟
- ٨ - على أي أساس تم اختيار عنصري الهليوم والنيون كوسط فعال لإنتاج شعاع الليزر؟
- ٩- ما هو الدور الذي يقوم به عنصر الهليوم في توليد الليزر في ليزر الهليوم - نيون؟
- ١٠- اشرح بالتفصيل كيف تم توليد شعاع الليزر في جهاز ليزر الهليوم - نيون.
- ١١- اشرح بالتفصيل كيف تتم عملية التصوير ثلاثي الأبعاد باستخدام الليزر.
- ١٢- يستخدم الليزر كثيراً في مجال الطب. ناقش أحد استخداماته في هذا المجال.
- ١٣ - يلعب الليزر دوراً فعالاً في توجيه الصواريخ في التطبيقات الحربية. على أي أساس يستخدم الليزر في هذا الغرض؟

مقدمة في الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل الثامن : الإلكترونيات الحديثة

الفصل الثامن

الإلكترونيات الحديثة

مقدمة :

يشهد العالم تقدماً هائلاً في مجال الإلكترونيات والاتصالات، حتى أنها أصبحت السمة المميزة لهذا العصر. فقد أصبحت الإلكترونيات والاتصالات، جزءاً لا يتجزأ من حياتنا، فالتليفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وغيرها من النظم تعد شاهداً على التقدم الهائل في استخدامات الإلكترونيات والاتصالات سواء في نقل المعلومات أو الترفيه أو الثقافة، بل أنها أصبحت أيضاً عنصراً أساسياً في الحرب الحديثة. فلم تعد الأسلحة قوة نيران فقط، وإنما يقوم التوجيه والاستطلاع والرصد والتشويش والخداع بدور حاسم. كذلك في مجال الطب، سواء في التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية، فإن الإلكترونيات لها دور أساسي. وباختصار لا يوجد مجال واحد من مجالات الحياة إلا وتلعب الإلكترونيات دوراً حيوياً فيه، بدءاً من الألعاب الإلكترونية إلى الحرب الإلكترونية. ومن ثم فلا بد من تحصيل قدر مبسط من المعلومات عن الإلكترونيات، مهما كان التخصص المهني مستقبلاً.

أشباه الموصلات النقية:

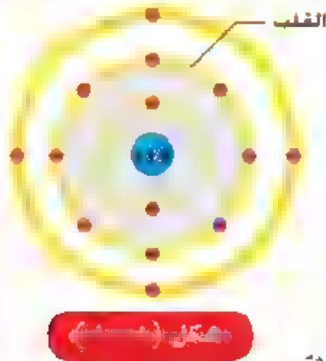
توجد ثلاثة أنواع من المواد من وجهة نظر التوصيلية الكهربائية، وهي الموصلات

Conductors والعوازل Insulators واشباه الموصلات Semiconductors.

الموصلات، هي التي توصل الكهرباء والحرارة بسهولة (مثل المعادن).

العوازل، التي لا توصل الكهرباء والحرارة بسهولة (مثل الخشب والبلاستيك).

أشباه الموصلات، هي مرحلة متوسطة تتميز بأن التوصيلية تزداد مع درجة الحرارة (ومن أمثلتها السيليكون).



شكل (٨-١) ذرة لسليكون

ذرة لسليكون

السيليكون من العناصر المهمة في الكون. فهو يدخل في تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية، ولكن بلورة السيليكون النقي تتكون من ذرات سيليكون تربطها روابط تساهمية (البلورة هي ترتيب هندسي منتظم للذرات في الحالة الجامدة). فذرة السيليكون تحتوي على أربعة إلكترونات في القشرة الخارجية (شكل ٨-١)، ولذلك نتشارك كل ذرة سيليكون مع أربعة ذرات من جيرانها. بحيث تكتمل القشرة الخارجية Outer Shell. وبذلك تحتوي القشرة الخارجية لكل ذرة سيليكون على ثمانية إلكترونات بأسلوب التشارك (شكل ٨-٢، ب). ولابد أن نميز هنا بين

نوعين من الإلكترونات السيليكون، النوع الأول إلكترونات لمستويات الداخلية، وهي مرتبطة بشدة Tightly Bound، وترتبط جذبا بنواة الذرة. ثم النوع الثاني إلكترونات التكافؤ في القشرة الخارجية Valence Electrons ولها حرية أكبر في الحركة عبر المسافات البينية. وفي درجات الحرارة المنخفضة (شكل ٨-٢ ج) تكون جميع الروابط بين الذرات في البلورة سليمة ولا توجد في هذه الحالة إلكترونات حرة على غرار لمعدن. إلا أنه بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط Bonds فتنتقل بعض الإلكترونات من روابطها وتصبح إلكترونات حرة. ويترك مثل هذا الإلكترون وراءه مكانا فارغا في الرابطة المكسورة Broken Bond يعبر عنه



بلورة السيليكون في درجة الصفر المطلق كل الروابط سليمة



شكل (٨-٢) ب) ذرة لسليكون

(أ) رابطة التساهمية يمكن تمثيل ذرة السيليكون (نواة موجبة $+4e$ وإلكترونات سالبة $-14e$) بقلب شحنته موجبة $+4e$ يحيط به أربعة إلكترونات في لقشرة خارجية شحنتها سالبة $4e$



شكل (٨-٢) ج) ذرة لسليكون

كل ذرة تتشارك مع جيرانها الأربعة

بالفجوة Hole التي كان الإلكترون يشغلها (شكل ٨ ٣) . ولأن الذرة متعادلة فإن غياب إلكترون عن الذرة يعنى ظهور شحنة موجبة. ولذلك فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة. ويلاحظ أننا لا نسمى الذرة التي كسرت أحد روابطها أيونا لأن الفجوة سرعان ما تقتنص إلكترونات أخرى، إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة. فتعود الذرة متعادلة كما كانت، وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى وهكذا.



طاقة حرارية

شكل (٨-٣) (أ)

كلما زادت درجة الحرارة كسرت روابط أكثر



شكل (٨-٣) (ب)

كسر الرابطة يحتاج طاقة

وكلما زادت درجة الحرارة زاد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات، مع مراعاة أن عدد الإلكترونات الحرة يساوى عدد الفجوات في حالة السيليكون النقي. ولا تظل هذه الزيادة مستمرة حيث تصل البلورة إلى حالة من الاتزان الديناميكي Dynamic Equilibrium. يسمى الاتزان الحراري Thermal Equilibrium، إذ لا تكسر إلا نسبة ضئيلة من الروابط، وفيها يتساوى عدد الروابط المكسورة في الثانية مع عدد الروابط التي يتم تكوينها في الثانية، ليبقى في النهاية هناك عدد ثابت من الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة لكل درجة حرارة.

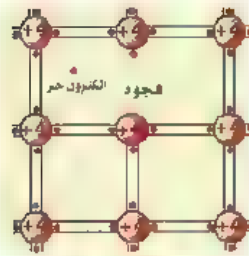
وعلى ذلك فإن الإلكترونات الحرة تمثل النوع الثالث من الإلكترونات التي تتحرك، وهي أيضا مقيدة ولكن في حيز أكبر هو البلورة ذاتها، ويحددها سطح البلورة. يحتاج كسر الرابطة إلى حد أدنى من الطاقة إما على صورة طاقة حرارية أو ضوئية. وفي حالة التسام الرابطة Recombination تنطلق الطاقة على شكل طاقة حرارية أو ضوئية.

وكما يتحرك الإلكترون حركة عشوائية، تتحرك أيضا الفجوات عشوائيا حيث تتجه حركة الإلكترونات داخل الروابط لملء الفراغات التي تنشأ عن كسر الروابط (شكل ٨-٤).



شكل (٨-٤) عشوائية

تتحرك الفجوات عشوائيا بين الروابط



شكل (٨-٥) عشوائية

عند درجة حرارة معينة يظل عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابتا



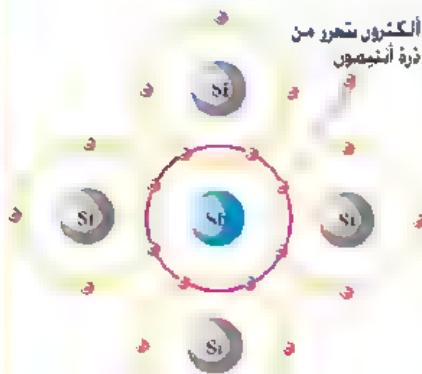
شكل (٨-٦) عشوائية

حركة الفجوات تكافئ حركة الإلكترونات داخل روابطها (في اتجاه عكسي)

التطعيم (إضافة الشوائب) Doping

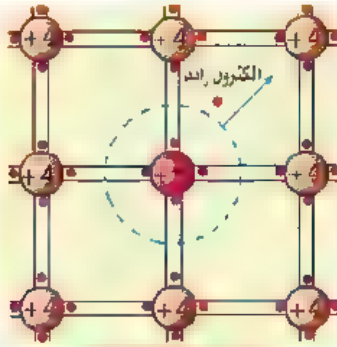
تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للشوائب Impurities، كما تتميز بحساسيتها الشديدة للحرارة. وحيث أن السيليكون من المجموعة الرابعة في الجدول الدوري فإن إضافة عنصر مثل الفوسفور P أو الأنتيمون Sb وغيره من المجموعة الخامسة Pentavalent، من شأنه إحلال الذرة الشائبة مكان ذرة سيليكون (شكل ٨-١٥).

هنا تحاول ذرة الفوسفور أن تقوم بنفس العمل الذي



شكل (٨-١٥) تطعيم

ذرة أنتيمون (المجموعة الخامسة)
تحل محل ذرة سيليكون



شكل (٨-١) (١)

التعليق: شحنة حماسية بوجه القربان حرة
لشوائب. وتسمى مثل هذه الدرة الشائبة بالمعطلة
موجبة ٥، يحيط به خمسة الكترونات اربعة
منه في روط و لإلكترون لير تد سحر

كانت تقوم به ذرة لسيليكون، من حيث إنشاء الروابط مع الجيران. ولأن الذرة الشائبة تحتوي على خمسة إلكترونات فإن أربعة منها تشترك في الروابط ويبقى إلكترون واحد خارج هذه الروابط، وتكون قوى الجذب عليه ضعيفة فسرعان ما تمقده الذرة الشائبة بهائد وتصبح ايونا موجبا. وينضم هذا الإلكترون الحر إلى رصيد البلورة من الإلكترونات الحرة. أي أن البلورة

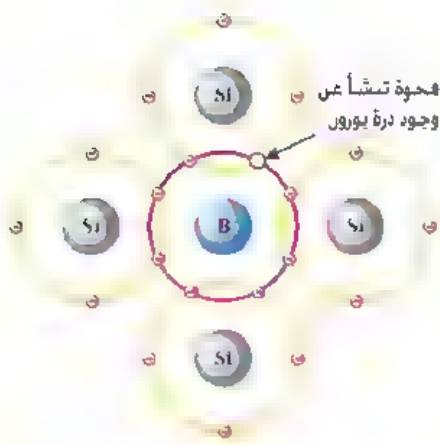
اصح لها مصدر اخر للإلكترونات الحرة وهو ذرات لشوائب. وتسمى مثل هذه الدرة الشائبة بالمعطلة Donor. ويحدث اتزان حراري حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة.

$$n = p + N_D^+ \quad (٨-١)$$

حيث N_D هو تركيز ايونات الشوائب المعطية و n هو تركيز الإلكترونات الحرة و p هو تركيز الفجوات. ومن ثم يتضح أنه في هذه الحالة n أكبر من p تصبح هذه المادة من نوع n -type. وبالعكس إذا أضفنا ذرات ألومنيوم Al أو بورون B وغيره (المجموعة الثالثة) بدلا من الفوسفور أو لأنتيمون وغيره (شكل ٨-٦)، هاتكسب ذرة الشائبة ذات الإلكترونات الثلاثة إلكترونات من إحدى روابط لسيليكون ليصبح عددها أربعة فتظهر فجوة في رابطة سيليكون. ونتيجة لذلك، تضيف ذرات الشوائب فجوات غير الفجوات التي نشأت بفعل الحرارة. ويتطلب الاتزان الحراري أن يكون:

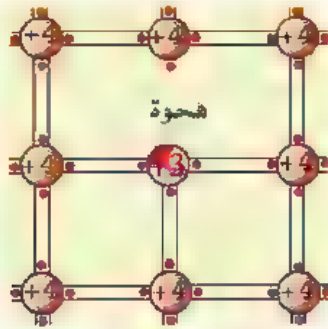
$$p = N_A^- + n \quad (٨-٢)$$

حيث N_A هو تركيز ايونات الشوائب السالبة، أي أن p أكبر n في هذه الحالة. وتسمى مثل هذه الذرة المستقبلة Acceptor. وفي جميع الأحوال نجد أن



شكل (٨-٢) (٢)

ذرة بورون (المجموعة الثالثة) تخر ٤ حرة ذرة سيليكون



شكل (٣-٨) شحنة

لتطبيقه بشحنة ثلاثية يوفر موجبات حرة
لتوصيلها يمكن تمثيل دالة الشحنة بقسم شحنته
موجبه لأن، يحيط به ثلاثة إلكترونات ثم تحذف
الدرجة لكربون من درجة سيكون مكعبة وحدة

$$np = n_i^2$$

(٣-٨)

حيث n_i هو تركيز الإلكترونات أو الفجوات في

حالة السيليكون النقي، أي أنه إذا زادت n تنقص p

وبالعكس. ويسمى هذا قانون فعل الكتلة - Mass Action Law.

ويمكن على سبيل التقريب أن نقول،

في حالة n -type

$$n = N_D^+$$

(٤-٨)

$$p = n_i^2 / N_D^+$$

(٥-٨)

وفي حالة p -type

$$p = N_A^-$$

(٦-٨)

$$n = n_i^2 / N_A^-$$

(٧-٨)

المكونات أو النبائط الإلكترونية - Electronic Components and Devices

المكونات والنبائط Devices هي وحدات البناء التي تبني عليها كل الأنظمة

الإلكترونية (شكل ٨-٧). بعض هذه المكونات بسيطة مثل المقاومة R وملف الحث L

والمكثف C . وبعضها أكثر تعقيدا مثل الوصلة الثنائية pn junction (دايود) والترانزستور

Transistor بأنواعه كما توجد نبائط أخرى متخصصة (مثل نبائط كهروضوئية ونبائط

التحكم في التيار وغيرها). وتتميز أشباه الموصلات والتي تصنع منها أغلب النبائط

بحساسيتها للعوامل المحيطة بها مثل الضوء والحرارة والضغط والتلوث الذري

والكيميائي وغيرها. ولهذا تستخدم كمحسسات Sensors أي كوسائل قياس لهذه

العوامل. وعن طريقها يمكن قياس شدة الضوء الساقط أو درجة الحرارة أو الضغط أو

الرطوبة أو التلوث الكيميائي أو الإشعاع الذري وغيرها.



مجموعة من المكونات الإلكترونية

مجموعة من الدوائر الإلكترونية



مجموعة مقاومات

مجموعة مقاومات



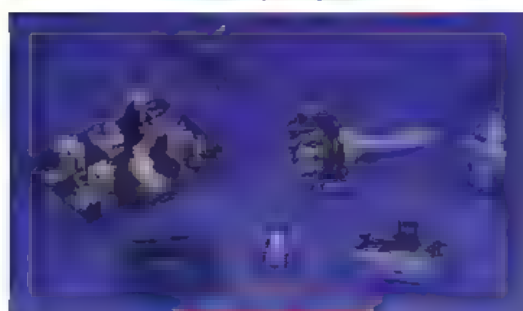
مجموعة من المكثفات

مجموعة من المكثفات



مجموعة من ملامح البحث

مجموعة من ملامح البحث



مجموعة من المصابيح

مجموعة من المصابيح



مجموعة من المحولات

مجموعة من المحولات



شكل (١١-١٢)

مجموعة مختلفة من النماذج والمكونات الإلكترونية
(هل يمكنك التعرف على بعضها؟)

الوصلة الثنائية pn-junction

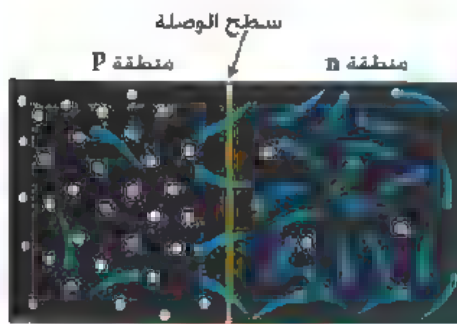


شكل (٨-٨) <

الوصلة الثنائية

تتكون الوصلة الثنائية pn Junction (شكل ٨-٨) من جزئية أحدها من النوع n-type والآخر من النوع p-type، ففي هذه الحالة فإن الفجوات في p type - وهي ذات

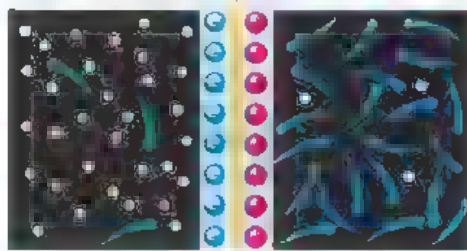
تركيز عال - تنتشر إلى منطقة n-type حيث أن تركيز الفجوات بها قليل. وكذلك الإلكترونات في منطقة n-type ذات التركيز العالي تنتشر في منطقة p-type ذات التركيز المنخفض بالنسبة للإلكترونات. ولذا ينشأ تيار انتشار يدفع الفجوات من منطقة p إلى منطقة n وتيار يدفع الإلكترونات من منطقة n إلى منطقة p. ولما كانت كل منطقة على حدة متعادلة (بسبب تعادل الشحنات الموجبة والشحنات السالبة في كل منطقة على حدة)



شكل (٨-٩) <

انتقال الإلكترونات من n إلى p

و الفجوات من p إلى n



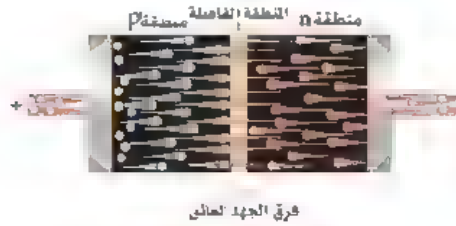
شكل (٨-٩) <

المنطقة الفاصلة خالية من الإلكترونات

والفجوات (يوت فقط)

فإن هجرة الكترونيات من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءا من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات. وكذلك فإن هجرة فجوات من منطقة p type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات ويتج عن ذلك منطقة خالية من الإلكترونات والفجوات تكون بها ايونات موجبة في ناحية وايونات سالبة في ناحية اخرى تسمى المنطقة الفاصلة Transition Region. (و المنطقة القاحلة Depletion Region) ينشأ في هذه المنطقة مجال كهربى داخل الوصلة يتجه من الأيونات الموجبة إلى الأيونات السالبة وينسب في دفع تيار (يسمى تيارا انسيابيا Drift Current) في اتجاه عكس اتجاه تيار الانتشار. وفي حالة الاتزان يتزن التيار في الاتجاه الأمامى مع التيار في لاتجاه العكسى لتكون المحصلة صفرا (شكل ٨-٩). فإذا طبقنا جهدا خارجيا بحيث يكون الطرف p متصلا بالطرف الموجب للبطارية (والطرف n متصلا بالطرف السالب للبطارية) فإن المجال الناشئ عن البطارية يكون عكس اتجاه

المجال الداخلى فى المنطقة الانتقالية فيضعفه. أما إذا عكسنا اتجاه فرق الجهد فإن المجالين يكونان فى نفس الاتجاه. ومعنى ذلك أنه فى الاتجاه الأول (الأمامى Forward Bias (Connection) يسمح بمرور تيار. ويكون التوصيل فى هذه الحالة أمامى Forward Bias (Connection).



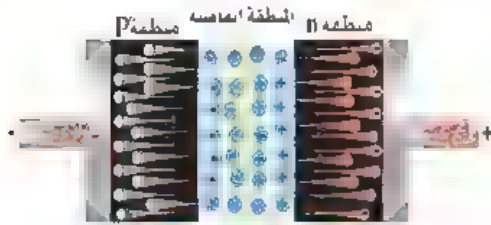
شكل (٨-١٠) تطبيق فرق جهد خارجى أمامى

حركة الإلكترونات والمجونات نتيجة فرق الجهد الخارجى



شكل (٨-١١) حركة الإلكترونات والمجونات نتيجة فرق الجهد الخارجى

حيث يكون p متصلاً بالطرف الموجب و n متصلاً بالطرف السالب للبطارية (شكل ٨-١٠) أما لتوصيل العكسى Reverse Bias فيكون حيث توصل p بالطرف السالب و n متصلاً بالطرف الموجب للبطارية (شكل ٨-١١). وهكذا فإن الوصلة الثنائية توصل



شكل (٨-١٢) التوصيل العكسى

حركة الإلكترونات والمجونات فى التوصيل العكسى

شكل (٨-١٣) التوصيل العكسى فى الوصلة الثنائية

شكل (٨-١٤) التمثيل الساتى بين فرق الجهد والتيار فى الوصلة

التمثيل الساتى بين فرق الجهد والتيار فى الوصلة

التيار بسهولة فى اتجاه وتمنعه تقريباً فى الاتجاه العكسى . (شكل ٨-١٢) ويمكن تشبيه عمل الوصلة بمفتاح يكون المفتاح مغلقاً فى الاتجاه الأمامى للجهد ومفتوحاً فى الاتجاه العكسى (شكل ٨-١٣). ومن ثم يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثنائية باستخدام أوميتر، إذ يجب أن يعطى مقاومة صغيرة جداً فى اتجاه ومقاومة عالية جداً فى الاتجاه العكسى. وهذا السلوك يختلف تماماً عن المقاومة الكهربائية التى توصل التيار بنفس القيمة إذا انعكس اتجاه التيار فى حالة إذا ما انعكس فرق

١٧٤

الفيزياء للصف الثالث الثانوى

الجهد. للوصلة الثنائية دور مهم في عملية تقويم التيار المتردد Rectification (أي جعله في اتجاه واحد) وهو ما يستخدم في شحن بطاريات السيارة وشحن شاحن التليفون المحمول Mobile وغيره ، حيث تستخدم الوصلة الثنائية - وتسمى عادة دايود Diode - في تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC .

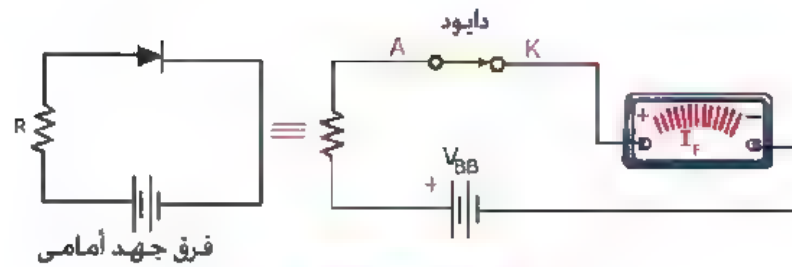
كاثود



أنود

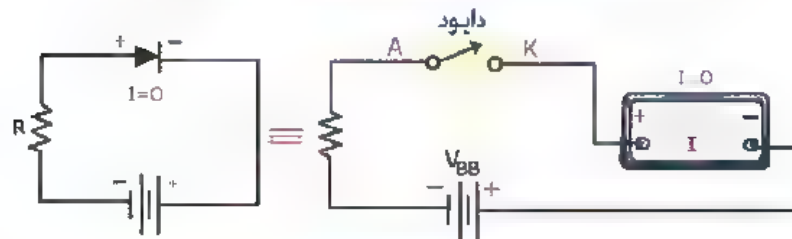
شكل (٨-١٠)

رسم الدايود



شكل (٨-١١)

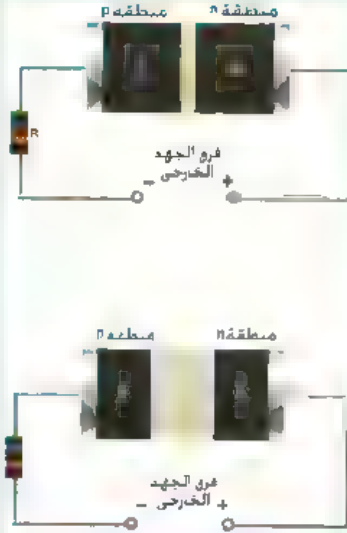
في الاتجاه الأمامي تمثل الوصلة الثنائية مفتاحاً مغلقاً (يوصل التيار)



شكل (٨-١٢)

في الاتجاه العكسي تمثل الوصلة الثنائية مفتاحاً مغلقاً (لا يوصل التيار)

معلومة إرشادية



شكل (٨-١٤) عرض المنطقة الفاصلة برداد مع

ازدياد فرق الجهد العكسي

التوليف الإلكتروني Electronic Tuning

لضبط جهاز الراديو أو التلفزيون على محطة معينة، نحتاج ضبط قيمة مكثف ملف حث لتعطى الدائرة تردداً يساوي تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين Resonance، وفي الأجهزة الحديثة يتم تغيير قيمة المكثف باستخدام خاصية الدايود في حالة وجود جهد عكسي. إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة، كلما زاد الجهد العكسي (شكل ٨-١٤) حسب هذا الجهد. ولأن زيادة هذا العرض تعنى تزايداً في الشحنات أي الأيونات، فيشبه هذا التغير في الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفي المكثف. أي أن الدايود في الاتجاه العكسي يكافئ مكثفاً Capacitor وهكذا يمكن تغيير قيمته حسب فرق الجهد العكسي عليه. وهذا ما يسمى التوليف الإلكتروني.

الترانزستور Transistor



مخترعو الترانزستور
باردين وشوكلي وبراتين (من اليسار)

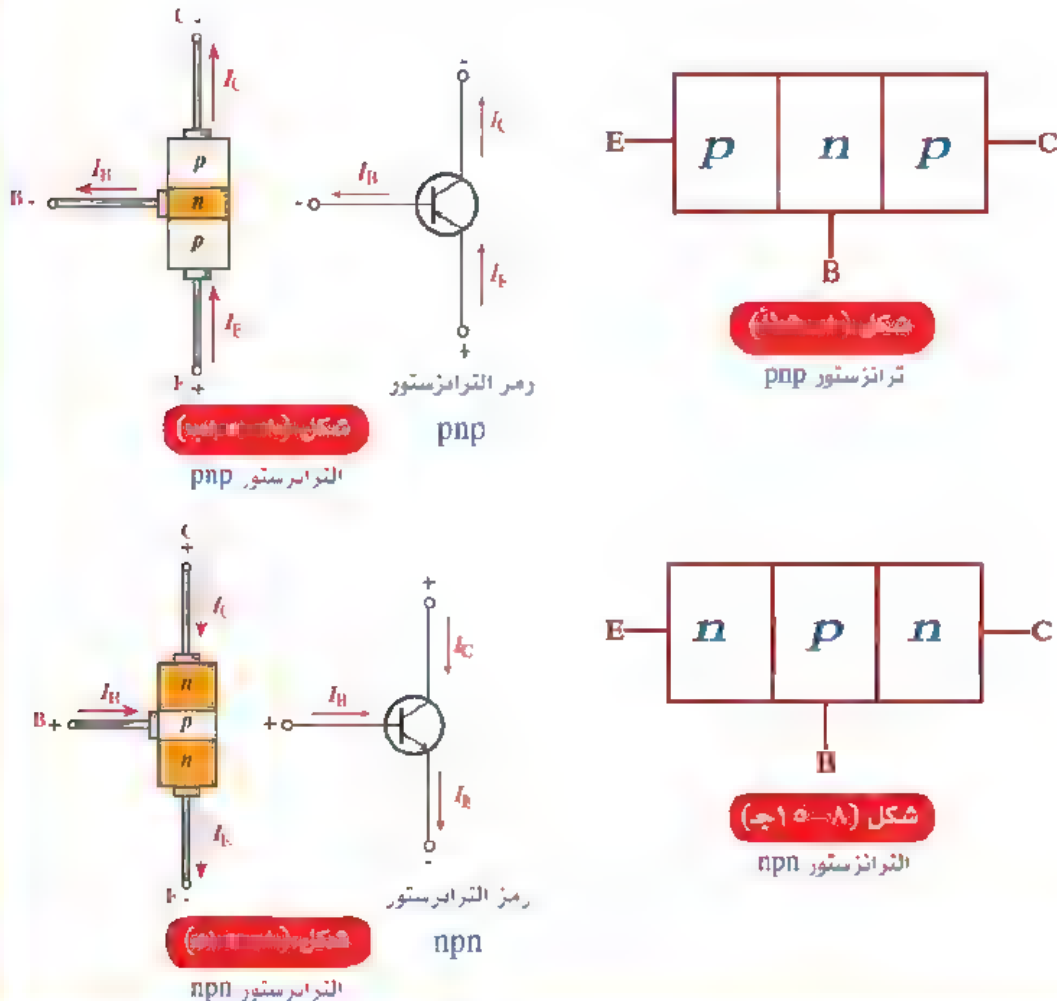
تم ابتكار الترانزستور عام ١٩٥٥ ويرجع الفضل في ذلك إلى كل من باردين Bardeen وشوكلي Shockley وبراتين Brattain. توجد أنواع مختلفة من الترانزستور. وسنكتفي هنا بالترانزستور من نوع npn أو pnp. ويعنى ذلك أنه يتكون من منطقة p تليها n ثم p، ومنطقة n تليها p ثم n (شكل ٨-١٥)

وتسمى المنطقة الأولى الباعث (E) Emitter والأخيرة المجمع (C) Collector والوسطى القاعدة (B) Base. وعرض القاعدة صغير للغاية. ولناخذ

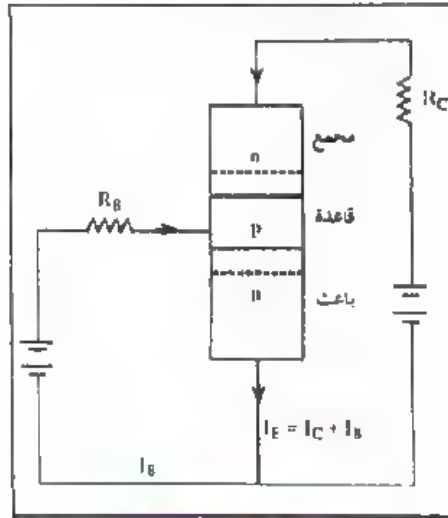
مثلاً npn. تكون الوصلة الأولى np أمامية التوصيل Forward Biased. أما الوصلة الثانية pn فتكون عكسية التوصيل Reverse Biased. في هذه الحالة تنطلق إلكترونات

من الباعث السالب n إلى القاعدة p حيث تنتشر بعض الوقت إلى أن يلتقيها المجمع n موجب. ولكن لأن الإلكترونات تنتشر في قاعدة مليئة بالفجوات فإن عملية الإنشام $Recombination$ التي تتم في القاعدة تستهلك نسبة من هذه الإلكترونات. فإذا كان تيار الإلكترونات المنطلق من الباعث هو I_E فإن ما يصل إلى المجمع I_C هو $I_C = \alpha_e I_E$ ، وما يستهلك في القاعدة هو $I_B = (1 - \alpha_e) I_E$. وهذا الجزء لابد أن يعوضه التيار في سلك القاعدة $Base Current$. ولذلك فإن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة ويسمى β_e هي

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{(1 - \alpha_e) I_E} = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e} \quad (٨ - ٨)$$



ولأن عرض القاعدة صغير جداً فلا تفقد نسبة كبيرة من الفجوات فيها أي أن α_e قريبة من الواحد الصحيح، ولذلك فإن β_e كبيرة جداً. أي أن تيار المجمع أكبر من تيار القاعدة بنسبة β_e وتسمى نسبة تكبير التيار Current Gain. أي أنه إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة signal (مثلاً الخرج من ميكروفون) في تيار القاعدة فإنه يظهر تأثيرها مكبراً في تيار المجمع. وهذه هي الفكرة الأساسية في عمل الترانزستور كمكبر - Amplifier (شكل ٨-٦ أ، ب)، وهذا ما يسمى فعل الترانزستور . Transistor Action



شكل ٨-٦ أ، ب

الترانزستور npn كمكبر

(المصدر مشترك)

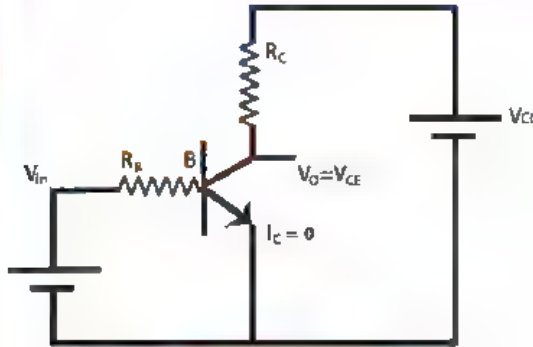
الترانزستور كمفتاح Switch:

إذا اعتبرنا دائرة المجمع
(شكل ٨ - ١٧) فإن

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C \quad (٨ \ ٩)$$

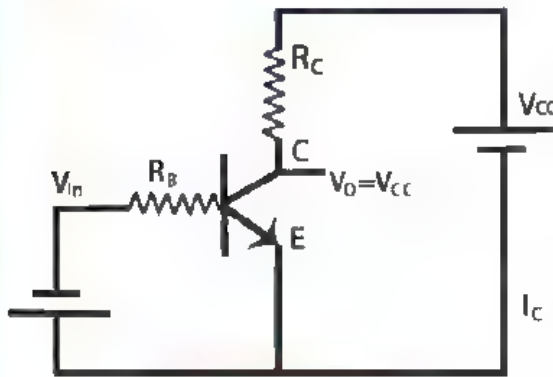
حيث V_{CC} جهد البطارية و V_{CE} هو فرق الجهد بين المجمع والباعث و I_C هو تيار المجمع و R_C هي المقاومة الموجودة في الدائرة. نجد انه كلما زاد I_C فإن V_{CE} تقل، حتى تصل إلى اقل قيمة لها حوالي $0.2V$ عندما يكون تيار القاعدة كبيراً، أي انه إذا اعتبرنا القاعدة هي الدخل Input والمجمع هو الخرج Output والباعث مشترك (متصل بجهد الأرضي)، فإن سلوك الترانزستور يكون على النحو التالي، إذا كان الدخل كبيراً فإن الخرج صغير. وإذا كان الدخل صغيراً فإن الخرج كبير وتسمى هذه النسيطة «عاكس» Inverter. أي إذا اعطينا جهداً موجباً على القاعدة يسرى تيار في المجمع بحيث يكون فرق

الجهد على المجمع صغيراً. وبالعكس إذا كان فرق الجهد على القاعدة صغيراً أو سالباً ينقطع التيار في المجمع ويصبح فرق الجهد على المجمع كبيراً، أي يكون الخرج كبيراً. وهكذا يستخدم الترانزستور كمفتاح Switch يوصل التيار أو لا يوصل التيار (شكل ٨ - ١٧). ويمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام اوميتر (كيف؟).



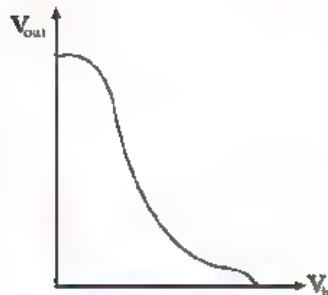
شكل (٨-١٧)

الترانزستور npn كمفتاح في حالة الفتح On



شكل (٨-١٨)

الترانزستور npn كمفتاح في حالة الفتح Off



شكل (٨-١٩)

خصائص العاكس

الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics

جميع الأجهزة الإلكترونية تتعامل مع الكميات الطبيعية وتحولها إلى إشارات كهربية. فمثلاً الميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربية. وكاميرا الفيديو تحول الصورة إلى إشارة كهربية. وكذلك في التلفزيون تتحول الصورة والصوت إلى إشارة كهربية ثم إلى إشارة كهرومغناطيسية في الإرسال، ثم تنتشر الموجة الكهرومغناطيسية. وعند الطرف المستقبل يتم تحويل الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربية في الهوائي (الإيرال) ثم إلى صوت وصورة في جهاز الاستقبال الإلكترونيات التي تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هي تسمى إلكترونيات تناظرية Analog Electronics. ولكن ظهر نوع حديث من الإلكترونيات يسمى الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics.

في هذه الحالة فإن الإشارة الكهربائية لا ترسل متصلة (أي تأخذ أي قيمة حسب حالها) ولكنها تحول إلى شفرة Code أساسها قيمتان فقط هما 0 و 1. مثلاً إذا أردنا أن نعبر عن قيمة 3 نكتبها 11₂ حيث رقم 2 يرمز إلى النظام الثنائي (وليست هذه أحد عشر) ولكنها

$$3 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

كما نكتب 17 مثلاً في النظام العشري

$$17 = 7 \times 10^0 + 1 \times 10^1$$

كذلك نكتب أي عدد في النظام الثنائي Binary في خانات تقابل الأحاد والعشرات ولكنها تكون خانة 2⁰ و خانة 2¹ و خانة 2². الخ. وهكذا يتم تشفير Coding كل عدد وكل حرف. ويتم تحويل كل الإشارات الكهربائية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق جهاز يسمى محول تناظري رقمي Analog to Digital Converter. وفي الطرف المستقبل يتم التحويل العكسي من إشارة رقمية إلى إشارة تناظرية عن طريق محول رقمي تناظري Digital to Analog Converter. ما الحكمة في ذلك؟ توجد في الطبيعة إشارات كهربية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى الضوضاء الكهربائية E.ectrical Noise مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات. فالإلكترونات شحنات إذا تحركت فإنها تسبب تيارات عشوائية. هذه الإشارات العشوائية تسبب تداخلاً في الإشارات التي تحمل المعلومات وتشوشها. وكلنا نلاحظ ذلك مثلاً في محطة إذاعة ضعيفة أو في محطة نليفزيون ضعيفة أو هوائي (إيرال) ضعيف، فتظهر نقاط بيضاء وسوداء على الشاشة. والضوضاء تضاف دائماً إلى الإشارات التي تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها. أم في حالة الإلكترونيات الرقمية فإن المعلومة ليست في قيمة الإشارة (لتي قد تضاف الضوضاء إليها وتشوشها) ولكن المعلومة تكمن في الشفرة أو الكود، هل لدينا 0 أو 1 ولا يهم إن كانت قيمة الجهد المخصص للحالة 0 أو الحالة 1 مضاف عليها ضوضاء. هذه هي الميزة الكبيرة للإلكترونيات الرقمية. ولذلك دخلت حياتنا في العصر

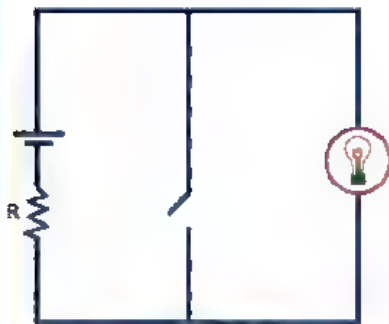
الحديث على نطاق واسع مثل التلفزيون المحمول والقنوات الفضائية الرقمية وأقراص الليزر المدمجة CD. ومما زاد من أهميتها اختراع الكمبيوتر المبني على الإلكترونيات الرقمية . فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر سواء أعداد أو حروف يتحول إلى شفرات ثنائية Binary Code كذلك تجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels وتحول أيضا إلى شفرة. ويصوم الكمبيوتر بجميع لعمليات الحسابة باستخدام الجبر الثنائي Boolean (Binary) Algebra. كما يقوم بتخزين المعلومات في الذاكرة المؤقتة RAM أو الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب Hard Disk على شكل مغنطه في اتجاه معين مما يعنى 0 و المعصطة في اتجاه مضاد مما يعنى 1

البوابات المنطقية Logic Gates

تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية Logic Gates. وهى الدوائر التى تستطيع ان تقوم بعمليات منطقية مثل العكس او التوافق او الاختيار، وهى مبنية على الجبر الثنائى - أساس الإلكترونيات الرقمية - وأهمها،

١- بوابة العاكس Inverter (NOT) لها مدخل واحد ومخرج واحد ويمكن تشغيل عملها كما فى شكل (٨ ١٨) .

input	output
الدخل	الخروج
1	0
0	1



شكل (٨ ١٨) البوابة

الرسم المكافئ لبوابة العاكس عند
غلق لمفتاح لا يضاء المصباح



شكل (٨ ١٨) البوابة

رمز بوابة العاكس Not



شكل (٨ ١٨) البوابة

حالات بوابة العاكس

٢- بوابة التوافق AND، لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها في شكل (٨-١٩).

intout	output
الدخل	الخروج
00	0
01	0
10	0
11	1

أى لا يكون هناك خرج إلا إذا اتفق الدخلان على نفس قيمة 1، أى لابد من توافر شرطين (أو أكثر) معا ليكون هناك خرج 1، ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوالي لابد من غلقهما معا ليمر تيار ويضيء المصباح.



شكل (٨-١٩) رمز

رمز بوابة التوافق AND



شكل (٨-١٩) الرسم

الرسم المكافئ لبوابة التوافق AND حيث لا يضيء المصباح إلا إذا انفتح المفتاحين معا

شكل (٨-١٩) حالات

بوابة التوافق

٣ بوابة الاختيار OR، لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها كما

في شكل (٨ ٢٠)

input	output
الدخل	الخروج
00	0
01	1
10	1
11	1

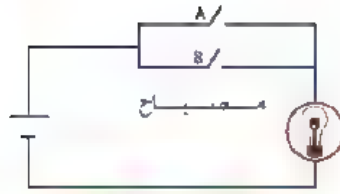
أي يلزم توافر أحد دخلين ليكون الخرج 1 ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوازي يكفى غلق أيهما ليمر تيار.

جميع العمليات التي يقوم بها الكمبيوتر مبنية على استخدام هذه البوابات وغيرها.



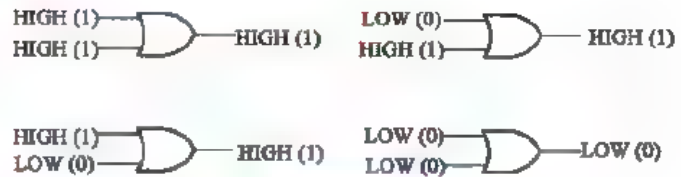
شكل (٨ ٢٠) (تابع)

رسم بوابة الاختيار OR



شكل (٨ ٢٠) (تابع)

الرسم المكافئ لبوابة الاختيار OR حيث يضر المصباح إذا غلق أى من المفتاحين



شكل (٨ ٢٠) (تابع)

حالات بوابة الاختيار OR

تلخيص

- بلورة المعدن تتكون من ايونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التي تسبح في انحاء البلورة في حركة عشوائية. وتوجد قوة تجاذب بين هذه الايونات والسحابة. ولكن محصلة قوى التجاذب على كل إلكترون حر في المعدن صفر. وإذا حاول الإلكترون الخروج من سطح المعدن، فإن قوى التجاذب المحصلة تجده إلى الداخل.
- بلورة السليكون (شبه موصل) النقي تتكون من ذرات تربطها روابط تكافؤية. وهي درجات الحرارة المنخفضة لا توجد أي إلكترونات حرة. أما إذا زادت درجة الحرارة فإن بعض هذه الروابط تنكسر، فتتحرر منها الإلكترونات وتظهر فجوات. وكل من الإلكترونات والفجوات تتحرك حركة عشوائية.
- عدد الروابط المكسورة يزداد مع درجة الحرارة، ويمكن أن يزداد مع مؤثر خارجي مثل الضوء، بشرط أن تكون طاقة لفوتون كافية لكسر الرابطة.
- يمكن أن يزداد عدد الإلكترونات الحرة عن عدد الفجوات بإضافة شوائب n-type، والعكس بإضافة شوائب p-type.
- تعتمد توصيلية شبه الموصل على تركيز الإلكترونات الحرة والفجوات، أي أن شبه الموصل يحتوي على حامليين للتيار، بينما المعدن به حامل واحد للتيار هو الإلكترونات، وعددها في المعدن ثابت لا يتغير مع درجة الحرارة.
- تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة لبيئة المحيطة. ولذا يمكن استخدامها كمحسات Sensors للضوء والحرارة والضغط والرطوبة والتلوث الكيميائي والذرى وغيره.
- يتكون دايود أو الوصلة الثنائية Pn Junction من منطقة p-type وأخرى n-type. وإذا وصل الطرف الموجب للبطارية إلى p-type والسالب إلى n-type يعرف هذا بالتوصيل الأمامي، ويسبب ذلك تياراً أمامياً. أما إذا عكسنا توصيل البطارية فلا يسرى تيار. ولذلك يستخدم الدايود في تقويم التيار المتردد Rectification.
- يتكون الترانزستور من npn أو pnp، ويستخدم للتكبير، حيث أن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة β كبيرة. ولذلك فإن تغير صغير في تيار القاعدة يظهر تأثيره مكبراً في المجمع.

أسئلة وتمارين

أولاً، التمارين

١- إذا كان تركيز الإلكترونات أو الفجوات في السيليكون النقي $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ اضيف إليه فوسفور بتركيز 10^{12} cm^{-3} احسب تركيز الإلكترونات والفجوات في هذه الحالة.
هل السيليكون يصبح n-type أو p-type ؟
($n=10^{12} \text{ cm}^{-3}$, $p=10^8 \text{ cm}^{-3}$)

(السيليكون في هذه الحالة يصبح n-type)
٢- احسب تركيز الألومنيوم المطلوب اضافته حتى يعود السيليكون نقياً مرة أخرى.
($N_A=10^{12} \text{ cm}^{-3}$)

٣- ترانزستور له $\alpha_E = 0.99$ احسب β_E . ثم احسب تيار المجمع إذا كان تيار القاعدة $100 \mu\text{A}$
($\beta_E=99$, $I_C=99 \times 10^{-4} \text{ A}$)

٤- إذا كانت الإشارة الكهربائية في قاعدة الترانزستور $200 \mu\text{A}$ ومطلوب ان يكون تيار المجمع 10 mA احسب β_E ثم α_E .
($\beta=50$, $\alpha=0.98$)

٥- دايود يمكن تمثيله بمقاومة في الاتجاه الأمامي 100Ω وفي الاتجاه العكسي مالا نهاية. وضعنا عليه فرق جهد 5 V + ثم عكسناه إلى 5 V - ماذا يكون التيار في كل حالة؟
(50 mA , 0)

ثانياً، أسئلة المقال

- ١- اشرح أهمية الإلكترونيات الرقمية ، واذكر خمسة تطبيقات هامة لها.
- ٢- استنتج جدول التحقق لدائرة AND يتلوها دائرة عاكس.
- ٣- استنتج جدول تحقق لدائرة OR يتلوها دائرة عاكس.

أسئلة ومسابقات عامة للمراجعة

- (١) في الدوائر الكهربائية المتصلة على التوازي تستخدم أسلاك سميكة عند طرفي البطارية، بينما يستخدم أسلاك أقل سمكاً عند طرفي كل مقاومة في الدائرة؟
- (٢) ما المقصود بكل من:
 - القيمة الفعالة للتيار المتردد.
 - التيارات الدوامية.
 - حساسية الجلفانومتر.
 - كفاءة المحول.
- (٣) ما هي الفكرة العلمية التي يبنى عليها عمل كل من:
 - * الجلفانومتر الحساس - المحول الكهربائي - مجزئ التيار في الأميتر - المقاومة المضاعفة للجهد في الفولتميتر
- (٤) علل: يعتبر المحول الخافض للجهد رافعاً للتيار بينما المحول الرافع للتيار خافضاً للتيار؟
- (٥) يوجد في المحولات ثلاث نقاط أساسية يتم مراعاتها عند التصميم لتقليل الفقد في الطاقة الكهربائية. ما هي هذه النقاط وما دورها في فقد الطاقة؟
- (٦) لا تتولد التيارات الدوامية في الكتل المعدنية إلا إذا كان المجال المغناطيسي المؤثر عليها متغير الشدة؟
- (٧) قارن بين دينامو التيار المتردد ودينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.
- (٨) علل: لزيادة قدرة الموتور تم استخدام عدة ملفات بينها زوايا صغيرة.
- (٩) ادمجت أطوال مختلفة من سلك مساحة مقطعه 0.1 cm^2 في دائرة كهربائية لإيجاد مقاومة كل منها فكانت النتائج كالآتي:

لطول l بالمتر	2	4	6	10	14	16
المقاومة R وم	5	10	15	25	35	40

ارسم علاقة بيانية بين الطول (ℓ) على المحور السيني ومقاومة السلك (R) على المحور
الصادي ومن الرسم البياني اوجد:

(١) مقاومة جزء من هذا السلك طوله 12 m .

(٢) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(٣) التوصيلية الكهربائية لمادة السلك.

(١٠) سلك طوله 30 m ومساحة مقطعه 0.3 cm^2 وصل على التوالي مع مصدر تيار مستمر
واميتر - تم قياس فرق الجهد بين طرفي السلك بواسطة فولتميتر فكان 0.8 V - فإذا كانت
شدة التيار المار في السلك 2 A - احسب التوصيلية الكهربائية للسلك؟

(١١) ملف مستطيل الشكل عدد لفاته (N) Turn لفة ومساحة سطحه $A\text{ (m}^2\text{)}$ وضع بحيث كان
مستواء موازيا لحطوط الفيض الناشئة عن مجال مغناطيسي منتظم كثافة الفيض B Tesla. (B).
بدا الملف في الدوران من هذا الوضع بسرعة زاوية ثابتة مقدارها ω حتى أتم نصف دوره وضع
بالرسم فقط. (دون شرح) كيف تتغير قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير مع زاوية
الدوران خلال هذه النصف دورة فقط، وما أقصى قيمة للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة
المتولدة في هذا الملف؟

(١٢) جلفانومتر مقاومة ملفه $40\ \Omega$ يقيس شدة تيار اقصاها 20 mA اوجد مقاومة مجزئ
التيار اللازمة لتحويله إلى اميتر يقيس شدة تيار اقصاها 100 mA ، وإذا وصل ملف
الجلفانومتر بمضاعف جهد مقاومته $210\ \Omega$ احسب أقصى فرق جهد يمكن قياسه؟

(١٣) قارن بين كل من :

- المحول الراجع والمحول الخافض من حيث الغرض منه وعدد لفات الملف الثانوي.

- الدينامو والموتور من حيث استخداماته.

(١٤) لماذا يتم نقل الكهرباء خلال الأسلاك من محطات توليد الكهرباء تحت فرق جهد عال؟
اختر الاحابة الصحيحة مع التعليل.

- (١) حتى تتمكن من استخدام المحولات.
- (٢) حتى نتأكد من أن التيار الكهربى سوف يمر لمسافة كبيرة.
- (٣) لتقليل الفاقد فى الطاقة الكهربائية.
- (٤) لتقليل مقاومة الأسلاك.
- (١٥) ما المقصود بكل من :
- (١) معامل الحث المتبادل بين ملفين $H = 2$.
- (٢) كفاءة المحول = 90%.
- (٣) التيارات الدوامية.
- (٤) القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد $2A$.
- (١٦) محول كهربى خافض ذو كفاءة 100% يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل على فرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته 240 V فإذا كانت عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة. احسب :
- (١) شدة التيار المار فى الملفين الابتدائى والثانوى.
- (٢) عدد لفات الملف الابتدائى.
- (١٧) عند مرور تيار كهربى فى سلك وضع عمودياً على مجال مغناطيسى منتظم فإن السلك يتأثر بقوة أى من الأجهزة التالية يبنى عمله على هذا التأثير،
- (١) المغناطيس الكهربى. (٢) المحرك الكهربى.
- (٣) المولد الكهربى. (٤) المحول الكهربى.
- (١٨) احسب القوة الدافعة الكهربائية لمصدر إذا كان الشغل المبذول لنقل 5C هو 100 J.
- (١٩) وصلت ثلاثة مقاومات 10Ω , 20Ω , 30Ω بمصدر كهربى فبسر تيار شدته 0.15A , 0.2A , 0.05A فى المقاومات على الترتيب احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة مع توضيح طريقة التوصيل بالرسم.

(٢٠) مصدر كهربي قوته الدافعة الكهربائية 130V وصل على التوالي مع مقاومتان , 400Ω و 300Ω قارن بين قراءتي فولتميتر مقاومته 200Ω إذا وصل بين طرفي كل مقاومة على حدة (مع إهمال المقاومة الداخلية للعمود).

(٢١) سلك طوله 2m ومساحة مقطعه 0.1m^2 وصل بمصدر قوته الدافعة 10V فمر به تيار شدته 2A احسب المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية لمادته.

(٢٢) سلك متخضم المقطع يمر به تيار شدته 0.1A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1.2V فإذا جعل السلك على شكل مربع مفلق abcd احسب المقاومة المكافئة للسلك إذا وصل المصدر بالنقطتين a,c وإذا وصل المصدر مرة أخرى بالنقطتين a,d.

(٢٣) تتصل محطة لتوليد الكهرباء بمصنع يبعد عنها مسافة 2.5km بسلكين فإذا كان فرق الجهد بين طرفي السلكين عند المحطة 240V وبين الطرفين عند المصنع 220V وكان المصنع يستخدم تياراً شدته 80A احسب مقاومة المتر الواحد من السلك ونصف قطره إذا علمت أن المقاومة النوعية لمادة السلك $1.57 \times 10^{-8}\Omega\cdot\text{m}$.

(٢٤) بطارية سيارة قوتها الدافعة الكهربائية 12V ومقاومتها الداخلية 0.5Ω احسب النسبة المئوية لفرق الجهد المفقود من هذه البطارية عند استخدامها في إضاءة مصباح مقاومته 2Ω .

(٢٥) عين كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة في الهواء على بعد 0.1m من سلك مستقيم طویل يمر به تيار شدته 10A، علماً بأن معامل نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} \text{ Web/Am}$.

(٢٦) سلكان مستقيمان متوازيان يمر في الأول تيار شدته 10A وفي الثاني تيار شدته 5A. احسب كثافة الفيض المغناطيسي الكلي عند نقطة بين السلكين تبعد عن الأول 0.1m وعن الثاني 0.2m عندما يكون التيار في السلكين في نفس الاتجاه مرة وفي اتجاهين متضادين مرة أخرى.

(٢٧) سلك مستقيم لف على شكل ملف دائري لفة واحدة وأمر به تيار كهربى فإذا لف السلك نفسه مرة أخرى على شكل ملف دائرى من أربع لفات ومر به نفس التيار، قارن بين كثافتى المبيض عند مركز الملف فى كل من الحالتين.

(٢٨) ملف حلزوني طوله 0.22m ومساحة مقطعة $25 \times 10^{-4} \text{m}^2$ يحتوى على 300 لفة. ما هى شدة التيار اللازم إمراره بالملف لتكون كثافة الفيض عند منتصف محوره $1.2 \times 10^{-3} \text{Web/m}^2$ وكم يكون الفيض الكلى الذى يمر بالملف ؟

(٢٩) تيار كهربى شدته 20A يمر فى سلك مستقيم طوله 10cm فإذا وضع السلك فى مجال كثافة فيضه $2 \times 10^{-3} \text{Web/m}^2$ بحيث يصنع زاوية قدرها 30° مع اتجاه المجال. احسب القوة المؤثرة على السلك.

(٣٠) ملف مستطيل طوله 30 cm وعرضه 20 cm يتكون من 10 لفات يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.1 Tesla. احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف يصنع زاوية 50° مع اتجاه المجال.

(٣١) ملف دائرى عدد لفاته 100 لفة وشدة التيار المار به 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.2 Tesla فإذا كانت مساحة مقطع الملف 0.3m^2 . احسب النهاية العظمى لعزم الازدواج المؤثر على الملف محددًا وضع الملف بالنسبة للمجال فى هذه الحالة.

(٣٢) جلفانومتر ذو ملف متحرك عند مرور تيار فيه شدته له 30mA كانت الراوية بين الملف والمجال 60° احسب حساسية الجلفانومتر.

(٣٣) جلفانومتر مقاومة ملفه 5Ω يقيس تيار أقصى شدة له 20mA احسب أقصى تيار يمكن أن يقيسه إذا وصل بمجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ، ثم احسب مقدار مضاعف الجهد الذى يوصل بالجلفانومتر ليعمل كمولتيمتر يقيس فرق جهد قدره 5V.

(٣٤) مجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ينقص حساسية اميتر إلى العشر، اوجد مقاومة المجزئ الذى ينقص حساسية هذا الاميتر إلى الربع.

- (٣٥) ناقش بالتفصيل المشكلة التي واجهت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير منحنيات شدة الإشعاع مع الطول الموجي للأجسام المتوهجة في درجات الحرارة المختلفة؟
- (٣٦) اشرح كيف استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟
- (٣٧) ما المقصود بالظاهرة الكهروضوئية وكيف تم تفسيرها في ضوء النظرية الكمية للإشعاع؟
- (٣٨) تعتبر ظاهرة كمبتون مثلاً جيداً للطبيعة الجسيمية للموجات. ناقش ذلك بالتفصيل؟
- (٣٩) يعتبر الميكروسكوب الإلكتروني مثلاً تطبيقياً للطبيعة الموجية للإلكترونات. اشرح فكرة عمل هذا الجهاز موضحاً ما يتميز به عن الميكروسكوب الضوئي العادي. ولماذا؟
- (٤٠) ما هو الدور الذي يقوم به المجال الكهربائي بين الكاثود والهدف في توليد الأشعة السينية في أنبوبة كولدرج؟
- (٤١) علل : يعتمد الطول الموجي للطيف المميز في الأشعة السينية على نوع مادة الهدف. وليس على فرق الجهد المسلط بين الكاثود والهدف.
- (٤٢) يشترط في مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس في حين لا يتطلب حدوث مثل ذلك في مصادر الضوء العادية؟
- (٤٣) يعتبر التجويف الرنيني هو الوحدة المسؤولة في جهاز الليزر عن إتمام عمليتي الانبعاث المستحث والتضخيم الضوئي. وضح بالتفصيل آلية إتمام هاتين العمليتين؟
- (٤٤) وضح الدور الذي يقوم به كل من عنصرى الهليوم والنيون في إنتاج ليزر الهيليوم نيون؟
- (٤٥) يعتبر ليزر الهيليوم نيون مثلاً لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية وضح آلية هذا التحويل؟
- (٤٦) قارن بين التصوير العادي والتصوير الهولوجرافي من حيث أسلوب نقل البيانات المعبرة عن الصورة إلى اللوح المونوغرافي في كل منهما.

- (٤٧) ما المقصود بالمادة شبه الموصلة النقية؟ وما هي خصائصها في التوصيل الكهربى؟
- (٤٨) ناقش الطرق الممكنة لرفع كفاءة المادة شبه الموصلة، مع ذكر الخصائص التى تكسبها المادة فى كل طريقة .
- (٤٩) ناقش مفهوم كل من المصطلحات التالية فى الوصلة الثنائية ،
 الضجوة الموجبة - الذرة الشائبة - المجال الكهربى داخل الوصلة الثنائية
 شبه موصل من النوع الموجب - تيار الانسياب
 شبه موصل من النوع السالب - تيار الانتشار
- (٥٠) ناقش مفهوم الاتزان الديناميكى الحرارى لبلورة مادة شبه موصلة؟
- (٥١) قارن بين خصائص الوصلة الثنائية فى حالة التوصيل الأمامى والتوصيل الخلفى.
- (٥٢) اشرح مع الرسم التوضيحي كيفية قيام الوصلة الثنائية بتقويم التيار المتردد.
- (٥٣) اشرح الأساس العلمى الذى يعمل عليه الترانزستور كمفتاح.
- (٥٤) إذا كانت الطاقة اللازمة لنزع إلكترون من سطح معدن هى $3.975 \times 10^{-19} J$ وعند سقوط ثلاث موجات كهرومغناطيسية احادية الطول الموجى وأطوالها الموجية على الترتيب هى (6000\AA - 5000\AA - 3100\AA) وضع فى كل حالة :
 1- هل تتبعث إلكترونات من سطح المعدن أم لا ؟
 2- فى حالة الإنبعث احسب طاقة حركة الإلكترون المنبعث وسرعته
 علما بأن (كتلة الإلكترون $9.1 \times 10^{-31} Kg$ وثابت بلانك $6.625 \times 10^{-34} J.s$)
- (٥٥) تعمل أنبوبة كولدج لتوليد الأشعة السينية على فرق جهد $4 \times 10^4 V$ و تيار كهربى شدته $5mA$ فإذا كانت كفاءة الأنبوبة 2% احسب :
 1- أقصر طول موجى للأشعة السينية الناتجة (0.31\AA)
 2- معدل الطاقة الكهربائية المستخدمة فى الأنبوبة ($200W$)
 3- معدل طاقة الأشعة السينية الناتجة ($4 W$)

ملاحق



ملحق ١

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية
Symbols and Units of Some Physical Quantities

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
١	الإزاحة	x,y,z,d	m (meter)
٢	المساحة	A	m ²
٣	الحجم	V _d	m ³
٤	الزمن	t	s (second)
٥	الزمن الدوري	T	s
٦	السرعة	v	m s ⁻¹
٧	الزاوية	α, θ, ϕ	deg , rad
٨	التردد الزاوي (السرعة الزاوية)	ω	rad s ⁻¹
٩	الكتلة	m,M	kg
١٠	كتلة الإلكترون	m _e	kg
١١	الكثافة	ρ	kg m ⁻³
١٢	العجلة	a	m s ⁻²
١٣	عجلة الجاذبية	g	m s ⁻²
١٤	كمية الحركة الخطية	P _L	kg m s ⁻¹
١٥	القوة	F	N , kg ms ⁻²
١٦	الوزن	F _g	N(Newton)
١٧	عزم اللي (الازدواج)	τ	Nm
١٨	الشغل	W	J(Joule)
١٩	المطاقة	E	J
٢٠	طاقة الحركة	KE	J
٢١	طاقة الوضع	PE	J

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
٢٢	القدرة	P_w	$W, Js^{-1} (watt)$
٢٣	الدفع	I_{imp}	Ns
٢٤	درجة الحرارة	$t^{\circ}C, t^{\circ}F, T^{\circ}K$	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الضغط	P	$Pascal, Nm^{-2}$
٢٧	الضغط الجوي	P_a	$Pascal, Nm^{-2}$
٢٨	كمية الحرارة	Q_{th}	J
٢٩	الحرارة النوعية	C_{th}	$J kg^{-1} ^{\circ}K^{-1}$
٣٠	السعة الحرارية	q_{th}	$J^{\circ}K^{-1}$
٣١	الحرارة الكامنة للتصعيد	B_{th}	$J kg^{-1}$
٣٢	الحرارة الكامنة للانصهار	L_{th}	$J kg^{-1}$
٣٣	معامل التمدد الحجمي للغاز	α_v	—
٣٤	معامل زيادة ضغط الغاز	B_p	—
٣٥	معدل الانسياب الكتلي	Q_m	kg/s
٣٦	معدل الانسياب الحجمي	Q_v	m^3/s
٣٧	معامل اللزوجة	η_{vs}	$Ns m^{-2}$
٣٨	الكفاءة	η	—
٣٩	الشحنة الكهربائية	Q, q	$C (Coulomb)$
٤٠	شحنة الإلكترون	e	C
٤١	فرق الجهد الكهربى	V	$V (Volt)$
٤٢	فرق جهد البطارية	V_B	V
٤٣	القوة الدافعة الكهربائية	emf	V
٤٤	شدة المجال الكهربى	ϵ	Vm^{-1}
٤٥	الفيض الكهربى	ϕ_e	$Gauss$

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
٤٦	شدة التيار الكهربى	I	A (Ampere)
٤٧	المقاومة الكهربائية	R	Ω (Ohm)
٤٨	المقاومة النوعية	ρ_e	$\Omega \text{ m}$
٤٩	التوصيلية الكهربائية	σ	$\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$
٥٠	معامل تكبير الترانزستور	α_e, β_e	—
٥١	شدة المجال المغناطيسى	H	Am^{-1}
٥٢	كثافة الفيض المغناطيسى	B	Tesla, Wb m^{-2}
٥٣	الفيض المغناطيسى	ϕ_m	Web (Weber)
٥٤	معامل الحث الذاتى	L_m	H (Henry)
٥٥	معامل الحث المتبادل	M_m	H
٥٦	النفاذية المغناطيسية	μ	Weber $\text{A}^{-1} \text{ m}^{-1}$
٥٧	عزم ثنائى القطب المغناطيسى	\vec{m}_d	Nm Tesla^{-1}
٥٨	سرعة الضوء	c	ms^{-1}
٥٩	التردد الموجى	ν	Hertz (Hz)
٦٠	التردد الكهربى	f	Hz
٦١	الطول الموجى	λ	m
٦٢	معامل انكسار المادة للضوء	n	—
٦٣	قوة التفريق اللونى	ω_{∞}	—

ملحق ٢

الثوابت الفيزيائية الأساسية

Fundamental Physical Constants

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
$6.677 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$	G	١- ثابت الجذب العام Universal gravitational constant
$1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$	k	٢- ثابت بولتزمان Boltzmann constant
$6.02 \times 10^{26} \text{ Molecule.kmol}^{-1}$	N_A	٣- عدد أفوجادرو Avogadro's number
$8.31 \times 10^3 \text{ J.kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	R	٤- الثابت العام للغازات Universal gas constant
$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$	k	٥- ثابت قانون كولوم Coulomb's Law Constant
$4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber m}^{-1} \text{ A}^{-1}$	μ	٦- معامل نفاذية الفراغ Permeability of free Space
$3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	c	٧- سرعة الضوء في الفراغ Speed of Light in Vacuum
$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	e	٨- الشحنة الأولية Elementary charge
$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	m_e	٩- كتلة السكون للإلكترون Electron rest mass
$1.79 \times 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$	$\frac{e}{m_e}$	١٠- الشحنة النوعية للإلكترون Specific charge of electron
$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m_p	١١- كتلة السكون للبروتون Proton rest mass
$6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$	h	١٢- ثابت بلانك Planck's constant
$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$	u	١٣- وحدة الكتلة الذرية Atomic mass unit
$1.096 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	R_H	١٤- ثابت ريدبرج Rydberg constant
$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m_n	١٥- كتلة السكون للنيوترون Neutron rest mass
$22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$		١٦- حجم المول في الغاز في معدل الضغط ودرجة الحرارة Molar volume of ideal gas at S.T.P
9.8066 ms^{-2}	g	١٧- شدة الجاذبية على سطح الأرض Standard gravity at Earth's surface
$6.374 \times 10^6 \text{ m}$	r_e	١٨- نصف القطر الاستوائي للأرض Equatorial radius of the Earth
$5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$	M_e	١٩- كتلة الأرض Mass of the Earth
$7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$	M_m	٢٠- كتلة القمر Mass of the Moon
$3.844 \times 10^8 \text{ m}$	r_m	٢١- متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض Mean radius of the Moon's orbit around the Earth
$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$	M_s	٢٢- كتلة الشمس Mass of the Sun

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
$1.496 \times 10^{11} \text{ m}$	r_{es}	٢٢- متوسط نصف قطر دوران الأرض حول الشمس Mean radius of Earth's orbit around the Sun
$3.156 \times 10^7 \text{ s}$	yr	٢٤- زمن دوران الأرض حول الشمس Period of Earth's orbit around the Sun
$7.5 \times 10^{20} \text{ m}$	—	٢٥- قطر المجرة التابع لها الشمس Diameter of our galaxy
$2.7 \times 10^{41} \text{ kg}$	—	٢٦- كتلة المجرة التابع لها الشمس Mass of our galaxy
$7 \times 10^8 \text{ m}$	—	٢٧- نصف قطر الشمس Radius of the Sun
$0.134 \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	—	٢٨- شدة إشعاع الشمس على سطح الأرض Sun's radiation intensity at Earth's surface

ملحق ٢

البادئات القياسية Standard Prefixes

عربي	إنجليزي	الأس العشري
يوكتو	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
أوتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
ملي	Milli	10^{-3}
سنتي	Centi	10^{-2}
ديسي	Deci	10^{-1}
	—	10^0
ديكا	Deka	10^1
هيكتر	Hecto	10^2
كيلو	Kilo	10^3
ميغا	Mega	10^6
جيجا	Giga	10^9
تيرا	Tera	10^{12}
پتا	Peta	10^{15}
إكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

ملحق ٤
الحروف الأبجدية اليونانية
Greek Alphabet

A	α	alpha	a	"father"
B	β	beta	b	
Γ	γ	gamma	g	
Δ	δ	delta	d	
E	ε	epsilon	e	"end"
Z	ζ	zêta	z	
H	η	êta	ê	"hey"
Θ	θ	thêta	th	"thuck"
I	ι	iota	i	"it"
K	κ	keppa	k	
Λ	λ	lamda	l	
M	μ	mu	m	
N	ν	nu	n	
Ξ	ξ	xi	ks	"box"
O	ο	omikron	o	"off"
Π	π	pi	p	
P	ρ	rho	r	
Σ	σ, ς	sigma	s	"say"
T	τ	tau	t	
Υ	υ	upsilon	u	"put"
Φ	φ	phi	f	
X	χ	chi	ch	"Back"
Ψ	ψ	psi	ps	
Ω	ω	omega	ô	"grow"

ملحق ٥

أسماء بعض علماء الفيزياء وإنجازاتهم

• أبو البركات (ابن ملكا) (١٠٧٢ - ١١٥٢)	رائد في الطب ومكتشف قوانين الحركة.
• أبو الحسن علي (ابن يونس المصري) (٩٥٢ - ١٠٠٩)	رائد في علم الفلك ومخترع البندول البسيط.
• أبو الريحان محمد البيروني (٩٧٣ - ١٠٤٨)	رائد في علم الجغرافيا والفلك وأول من قدر نصف قطر الأرض.
• أبو علي الحسن (ابن الهيثم) (٩٦٥ - ١٠٤٠)	رائد في الرياضيات والفلك والطب ومؤسس علم البصريات.
• أبو يوسف يعقوب بن إسحاق (الكندي) (٨٠٠ - ٨٧٣)	رائد في الفلسفة والفيزياء (وخاصة البصريات) .
• إدوين (توماس) Edison (Thomas) (1847 - 1931)	مخترع الفونوجراف والمصباح الكهربى وبعض الأجهزة الإلكترونية.
• أرشميدس Arkhimēdēs (قبل الميلاد 212 - 287)	له اكتشافات عديدة منها نسبة قطر الدائرة إلى محيطها وقانون الطفو والمرآة العاكسة.
• أفوجادرو (اميديو) Avogadro (Amedeo) (1776 - 1856)	فيزيائى إيطالى صاحب النظرية المتعلقة بالجزيئات الغازية المعروفة باسمه.

● امبير (اندريه - ماري) Ampère (André - Marie) (1775 - 1836)	اجرى دراسات على الكهرباء والمغناطيسية والتلفراف.
● اورستد (هانس كريستيان) Oersted (Christian) (1777 - 1851)	مؤسس علم الكهرومغناطيسية فى عام 1820.
● اوم (جورج) Ohm (George) (1789 - 1854)	فيزيائى المانى فحص التيارات الجلفانية واكتشف توزيع القوة الدافعة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية وقام بصياغة قانون اوم للكهرية.
● اينشتاين (ألبرت) Einstein (Albert) (1879 - 1955)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 لخدماته فى الفيزياء النظرية وخاصة لاكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.
● باسكال (بليز) Pascal (Blaise) (1623 - 1662)	له مؤلفات علمية وبحوث ومساهمات فى مجال السوائل المتحركة وقوانين ضغط الهواء والماء وتوازن السوائل.
● بديع الزمان (ابن الرزق الجرجى) القرن الثانى عشر	رائد فى علم القياسات والميكانيكا وصناعة الآلات المائية.
● براج (وليم) Bragg (William) (1862 - 1942)	فيزيائى انجليزى اهتم بدراسة وتطبيق حيود الأشعة السينية لتحليل البناء البلورى، حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1915.
● بور (نيلز) Bohr (Neils) (1885 - 1962)	حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1922 لخدماته فى إجراء الفحوصات العملية للبناء الداخلى للذرات والأشعة المنبعثة منها.
● بويل (روبرت) Boyle (Robert) (1627 - 1691)	اكتشف قانون ضغط الغازات.

● توريشلى (إيفانجلستا) Torricelli (Evangelista) (1608 - 1647)	مخترع البارومتر الزئبقى.
● جاليليو (جاليلى) Galileo (Galilei) (1564 - 1642)	هكلى إيطالى وفيزيائى واول من أثبت أن سقوط الأجسام لا يعتمد على الكتلة واول من صنع التلسكوب الفلكى.
● جلفانى (لويجى) Galvani (Luigi) (1737 - 1798)	فيزيائى وطبيب إيطالى أدت تجاربه على الحيوانات إلى أن الأعصاب والعضلات تولد شحنات كهربية.
● دالتون (جون) Dalton (John) (1766 - 1844)	كيمىائى وفيزيائى إنجليزى اول من وضع فروض الذرة واستنتج قانون امتزاج الغازات.
● رذر فورد (إرنست) Rutherford (Ernest) (1871 - 1937)	اهتم بالإجراءات المعملية فى مجال الذرة والإشعاع ونال جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٠٨ لأبحاثه فى الانحلال الإشعاعى للعناصر
● رهمكورف (هنريش) Ruhmkorff (Heinrich) (1803 - 1877)	عالم فرنسى من أصل المانى وهو ميكانيكى اهتم بالكهرباء واخترع البكرة المعروفة باسمه وايضا ملف الحث.
● رونتجن (ويلهلم) Rontgen (Wilhelm) (1845 - 1923)	فيزيائى المانى اكتشف الأشعة السينية (أشعة إكس).
● شرودينجر (أروين) Schrodinger (Erwin) (1887 - 1961)	فيزيائى نمساوى نال جائزة نوبل لأبحاثه فى الآلية المتموجة عام ١٩٢٣.
● عبد الرحمن أبو جعفر (الخازن) (القرن الثانى عشر)	رائد علم الهيدروستاتيكا وقياس الضغط ودرجة الحرارة.

● فاراداي (مايكل) Faraday (Michael) (1791 - 1867)	اكتشف قوانين الكهرومغناطيسية ومفهوم المجال.
● فان در فالز (جوهانس) Van Der Waals (Johannes) (1837 - 1923)	منح جائزة نوبل عام 1910 من اجل دراساته المتميزة لمعادلة الحال للغازات والسوائل
● فراونهوفر (جوزف فون) Fraunhofer (Joseph Von) (1787 - 1826)	فسر الخطوط الطيفية المظلمة لضوء الشمس التي أدت إلى وجود مختلف العناصر والأيونات في الشمس.
● فولتا (الساندرو) Volta (Alessandro) (1745 - 1827)	فيزيائي إيطالي أول من صنع العمود الكهربائي (البطارية) وطور نظرية التيار الكهربى وتعرف وحدة قياس الجهد باسمه.
● فيرمي (إنريكو) Fermi (Enrico) (1901 - 1954)	فيزيائي إيطالي مشغل بالطاقة النووية واشترك في صناعة القنبلة الذرية (نوبل 1938) وأدت أبحاثه إلى إنتاج عناصر مشعة جديدة.
● كاميرلنخ (أونس) Kamelingh (Onnes) (1853 - 1926)	نال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1913 لبحوثه على خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت إلى إنتاج الهليوم السائل واكتشاف ظاهرة فائقة التوصيل في المعادن الفلزية وبعض المركبات.
● كبلر (جوهانس) Kepler (Johannes) (1571 - 1630)	فلكي المانى وضع قوانين الكواكب السيارة واستنبط منها نيوتن قانون الجذب العام.
● كوبرنيكس (نيكولاس) Copernicus (Nicolas) (1473 - 1543)	فلكي بولندي أثبت دوران الكرة الأرضية حول نفسها وحول الشمس.
● كيرشهوف (جوستاف) Kirchhoff (Gustav) (1824 - 1887)	فيزيائي المانى اكتشف قوانين الدوائر الكهربائية.

● لنز (هنرش) Lenz (Heinrich) (1804 - 1865)	مكتشف قوانين التيار المستحث واتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة والتيار المستحث.
● ماكس بلانك (ماكس) Planck (Max) (1858 - 1947)	منح جائزة نوبل في الفيزياء عام 1918 تقديراً واعترافاً لخدماته التي أدت إلى تقدم ورقى الفيزياء بواسطة اكتشافه العلمي لكمات الطاقة.
● ماكسويل (جيمس) Maxwell (James) (1831 - 1879)	أول من افترض قوانين الكهرومغناطيسية والتي سميت بمعادلات ماكسويل.
● نيوتن (السير اسحاق) Newton (Isaac) (1642 - 1727)	اكتشف تكوين الضياء الشمسي وقوانين الجاذبية والحركة.
● هرتز (هينرش) Hertz (Heinrich) (1857 - 1894)	اكتشف الموجات الكهربائية واشتق القوانين الأساسية من معادلات ماكسويل.
● هيجنس (كريستيان) Huygens (Christian) (1629 - 1695)	أول من افترض وجود التموجات الضوئية.
● ينج (توماس) Young (Thomas) (1773 - 1829)	فيزيائي وطبيب اهتم بنظرية الضوء وأجرى تجارب معملية على التداخل الضوئي والالوان والنظرية الموجية للضوء.

المقاس	٨٢ × ٥٧ $\frac{1}{8}$
عدد الصفحات بالقلاف	٢١٦ صفحة
ورق المتن	٧٠ جرام
ورق القلاف	كوشيه ١٨٠ جم
ألوان المتن	٤ لـون
ألوان القلاف	٤ لـون
رقم الكتـاب	٤٧٨/١٠/٢/٢٣/٢/٢٠

<http://elearning.moe.gov.eg>



بسم الله الرحمن الرحيم

قام بفهرسة هذه النسخة ورفعها :

د محمد أحمد محمد عاصم

نسألكم الدعاء